ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME XV Avril 1956 NUMÉRO 58

SOMMAIRE

Article de Tête: Jusqu'où peut aller le vulgarisation scientifique? 59

530.145
Mécanique quantique et sens commun — A. LANDÉ — 61

591.58:595.7
Le chant des insectes — J. W. S. PRINGLE — 68

545.844:542.48
Le chromatogramme à gaz et liquide — A. T. JAMES — 73

591.313:593.95
Les spermatozoïdes d'oursin — LORD ROTHSCHILD — 79

535.22.08
La vitesse de la lumière — L. ESSEN — 87

92:54
Les Perkin, chimistes organiciens — SIR ROBERT ROBINSON — 92

049.3
Revue des livres 103

Livres reçus 111

Notes biographiques sur les collaborateurs 112

Rédacteur en chef: TREVOR I. WILLIAMS, M.A., B.Sc., D.Phil., F.R.I.C.
Pour les éditions étrangères: J. A. WILCKEN, B.Sc., Ph.D.

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

Jusqu'où peut aller la vulgarisation scientifique?

Il n'y a aucun doute qu'à l'époque où nous vivons il est souhaitable que le grand public soit instruit dans les grandes lignes du mouvement scientifique: sa discipline et ses méthodes, ses résultats et leurs applications, ses promesses et ses dangers. Cependant il serait pernicieux de faire accroire que les chances de réussite dans cette voie sont illimitées.

En science, comme en tout autre domaine du savoir, il y a profit à s'exprimer clairement, et chacun sait que sur ce point les savants ont encore beaucoup à apprendre, aussi bien dans leurs communications avec le public qu'entre confrères. Il y a d'autre part des limites à ce que le penseur ou l'écrivain le plus lucide peut arriver à faire comprendre à des gens sans formation, et souvent dépourvus d'entendement. Cela s'applique à toutes les activités humaines quelque peu complexes: il est donc étrange qu'une vérité acceptée pour ce qui est des autres domaines soit si souvent méconnue quand il s'agit de la vulgarisation scientifique. Prenons, par exemple, le jeu très ancien et très répandu des échecs. Tout le monde peut comprendre qu'ici c'est la patience et l'habileté qui mènent à la victoire. Mais personne certes ne s'avisera de suggérer que ceux qui ne savent même pas faire marcher les pièces sont en mesure d'apprécier l'esprit du jeu, les dangers d'une situation donnée, les moments critiques de la partie et toutes les finesses que seule une longue expérience peut enseigner. C'est aussi l'avis des journaux sérieux qui publient régulièrement une chronique des échecs visant à renseigner les fervents du jeu aussi complètement que possible, mais ne s'adressant pas du tout aux non-initiés. Ceci n'exclut évidemment pas la possibilité de trouver dans d'autres journaux des articles écrits à l'intention d'un public plus large. Il faudrait cependant que ces articles portent principalement sur les aspects du jeu capables d'intéresser la généralité des lecteurs: les résultats, par exemple, ou les particularités de chaque joueur, la longueur ou la brièveté des parties. Personne toutefois ne pourrait croire que ces détails peuvent nous renseigner sur ce qui fait l'intérêt passionnant du jeu ou sur la stratégie compliquée qui mène au succès.

On n'en finirait pas de citer des situations analogues: par exemple, qui pourrait se rendre compte des subtilités d'une argumentation juridique s'il n'a pas reçu une formation appropriée? Dans tous ces cas il y a des aspects que n'importe quel esprit quelque peu curieux pourrait comprendre, même dans le peu de temps que l'homme moyen peut consacrer aux occupations secondaires. Il en est de même pour ce qui est de la vulgarisation scientifique: certaines parties d'un sujet restent, pour ainsi dire par définition, inaccessibles au profane. S'il arrive à les comprendre, il n'est plus un profane, il est devenu un homme de science, qu'il soit parvenu à cette condition par des études académiques ou privées. Les meilleurs auteurs d'ouvrages de science populaire se rendent compte de cette vérité, et leur mérite gît en ce qu'ils n'ont pas tenté d'exposer un sujet scientifique dans son ensemble, mais s'en sont tenus aux parties que l'homme moyen qui a peu de loisirs peut comprendre et goûter.

Les sujets qui sortent de l'ordinaire, scientifiques ou autres peuvent généralement être compris dans la mesure où le lecteur peut les rapporter à ses connaissances ou son expérience. La nature des principales découvertes scientifiques et les répercussions qu'auraient leurs applications sur sa vie journalière sont à sa portée et il est admis que les connaissances générales de ce genre sont nécessaires. D'ailleurs, qu'on le veuille ou non, le problème que présente une population mondiale en augmentation rapide et réclamant un niveau de vie plus élevé, ne trouverait sa solution que dans un développement technique plus poussé. Pour aider à ce développement il est indispensable que l'instruction scientifique du public se fasse aussi rapidement et complètement que possible.

Parmi les faits scientifiques il y en a dont on ne pourrait donner au profane qu'une notion très superficielle, parce qu'ils sont trop différents de ce dont il a l'expérience et de ses conceptions habituelles. Ainsi ce n'est nullement par hasard que la vulgarisation s'est abstenue de toucher jusqu'ici au domaine de la chimie théorique, et a préféré s'en tenir aux applications chimiques importantes qui sont entrées dans notre existence journalière. Comment faire comprendre à qui ignore tout de la chimie l'élégance d'une ingénieuse synthèse organique, ou la dynamique

d'une réaction complexe? Le grand public pourrait par exemple reconnaître le fait que la découverte de la vitamine B_{12} est une réalisation importante, mais peut-il se rendre compte de la vraie raison de cette importance?

La vulgarisation rencontre bien d'autres obstacles. La science offrirait peu d'intérêt si elle ne consistait qu'à recueillir des faits nouveaux et les utiliser à des fins pratiques: ce ne sont là que le début et la dernière phase d'une opération compliquée. Pour être utilisables les faits doivent se ranger dans le cadre de lois générales qui serviront à leur tour à dégager d'autres faits. Les applications pratiques exigent presque toujours la solution de problèmes tout aussi ardus, si ce n'est plus, que la découverte originale. Il intervient aussi des facteurs autres que matériels: l'imagination qui pressent l'importance des faits, l'agrément que procure la recherche en soi, la satisfaction qui résulte de l'impulsion créatrice. Ce serait de l'optimisme exagéré que d'espérer donner au profane par la seule clarté du style un aperçu de ce mélange intime de concret et d'abstrait dont est faite la science moderne. Et quel temps pourrait-il consacrer à des lectures sur un sujet aussi vaste? En mettant les choses au mieux il ne ferait que l'effleurer, car actuellement même un scientifique doit se contenter d'un domaine bien restreint.

On prend, semble-t-il, la partie pour le tout quand on parle de la volumineuse production actuelle d'ouvrages de science populaire comme étant l'expression de tous les aspects de la science, et ce n'est pas là une abstraction d'intérêt purement académique, mais une question d'importance pratique. Quels qu'en soient les effets, l'influence qu'acquiert le savant sur les affaires mondiales croît constamment et les réalisations matérielles de la science semblent illimitées. On s'en inquiète à juste titre, car les fruits de la science peuvent aussi bien être nuisibles que bienfaisants. On est d'accord dans les milieux scientifiques que la plupart des savants travaillent pour le bien de l'humanité; mais ce serait méconnaître les réalités que de croire que tout le monde pense de même. Rien ne nuit tant aux bonnes relations entre le public et les scientifiques que le soupçon que ceux-ci veulent garder leurs activités secrètes en jetant sur elles le voile d'une langue cabalistique que seuls les initiés peuvent comprendre. Il serait plus utile, et moins décevant, de proclamer que la science est en réalité une discipline méthodique qui exige une patiente assiduité, et que si le profane désire vraiment comprendre les choses scientifiques et pas seulement leurs applications et leurs résultats les plus frappants, il lui faut se résoudre à étudier sérieusement.

Dans les années à venir, c'est inévitablement la science qui sera appelée, de plus en plus, à fournir la solution des problèmes qui préoccupent le monde. Certes les savants feront de leur mieux, mais il faudrait vraiment beaucoup d'optimisme pour croire qu'il n'y aura pas de déceptions. Celles-ci seront plus grandes si l'on croit que les voies de la science sont aisées; tout échec paraîtrait alors provenir soit de l'indifférence soit de quelque préoccupation machiavélique, plutôt que de la difficulté des problèmes à résoudre. C'est le nombre de gens qui peuvent ou qui veulent consacrer leurs loisirs et leur peine à l'acquisition de connaissances propres à leur servir, qui détermine la mesure où la science peut aider le monde. Cela s'applique également aux autres domaines du savoir où des notions superficielles ne sauraient tenir lieu de lumières réelles.

Mécanique quantique et sens commun

par ALFRED LANDÉ

Pour beaucoup de chercheurs contemporains, les règles quantiques ont un caractère si fondamental qu'il faut y voir des axiomes inexplicables en termes généraux. Cet article montre l'inutilité d'un tel défaitisme. On peut arriver aux dogmes de la mécanique quantique par un chemin logique, sans renoncer à l'hypothèse fondamentale de la continuité entre cause et effet.

On dit que la mécanique quantique est incompréhensible, sauf pour une minorité de théoriciens de la physique, rompus aux techniques mathématiques compliquées, et entraînés au raisonnement abstrait. Une étrange dualité entre les aspects corpusculaires et ondulatoires de la matière; l'incertitude qui remplace le déterminisme causal; l'impossibilité d'arriver à une représentation déterminée du monde microphysique, tandis qu'il faut se contenter d'un formalisme mathématique adaptable aux phénomènes les plus divers et contradictoires, tout cela n'a pas peu contribué à cette réputation. En progressant dans le sanctuaire quantique, nous voilà en face d'hypothèses révolutionnaires, devenues aujourd'hui des axiomes, comme la formule de Planck, $E = h\nu$, ou les règles quantiques modernes de Schrödinger, ou de Born-Heisenberg, «pleines d'idées étranges, et de procédés de calculs aux détails incompréhensibles» [2]. Le novice doit admettre les règles quantiques sans discuter «parce qu'elles donnent des résultats»; après quelques années de pratique, il aura oublié leur caractère problématique. S'il a pu rester lucide, il sera peut-être de l'avis de Bridgman [1] «lorsque nous nous attachons à l'étude d'objets suffisamment petits, la théorie quantique nous prévient que notre mode de raisonnement ne leur est pas applicable, si bien qu'on peut même se demander s'il est à propos de raisonner . . . Nous aurons peut-être à trouver des formes supérieures de raisonnement». Voilà une conclusion affligeante, après vingt-cinq années de dualité, d'incertitude, et de «complémentarité». Allons-nous accepter définitivement une collection de règles formelles inintelligibles, simplement parce qu'elles donnent des résultats, ou pourrons-nous concevoir la théorie quantique comme la manifestation de quelques principes physiques simples?

Bridgman, dans l'article déjà cité, formule cet espoir:

> «Je crois qu'à l'heure actuelle les experts s'entendraient sur ce point: quel que soit le nouveau mode de pensée que nous appliquerons à l'univers microscopique, il nous faudra trouver le sens de l'interprétation de nos nouveaux concepts au niveau des événements à grande échelle de la vie quotidienne, car c'est à cette échelle que nous vivons, et c'est nous qui énonçons les nouveaux concepts. Une fois d'accord sur ce point, on sera forcé, je crois, d'en tirer une conséquence à laquelle on pense rarement, à savoir, que les causes fondamentales de l'insuffisance de notre pensée dans le domaine microscopique se trouvent déjà en germe dans notre façon d'interpréter le domaine à grande échelle, et auraient dû se révéler au cours d'une analyse assez minutieuse de ce que nous appelons le sens commun».

Voilà certes des mots prophétiques, et la prophétie s'est partiellement réalisée; c'est ce que le présent article se propose de montrer. On peut arriver à un certain degré de compréhension des énigmes — aujourd'hui, des dogmes — de la mécanique ondulatoire à partir du sens commun. En fait, ceci est possible depuis le jour où Schrödinger, Born et Heisenberg ont réussi à fondre les vieilles règles quantiques incohérentes en une structure unique. Mais le développement historique s'y est opposé: le désaccord spectaculaire entre l'observation microphysique et les prévisions théoriques classiques était pour les chercheurs un stimulant bien plus puissant que la reconnaissance, dans une analyse critique, des déficiences intrinsèques de la théorie classique elle-même. A part le principe de correspondance de Bohr, tout était spectaculaire et révolutionnaire, et c'était nécessaire pour justifier la rupture avec la tradition newtonienne. Finalement, tout a semblé se condenser dans l'équation de Schrödinger, placée aujourd'hui au fronton de la théorie quantique. Mais c'est comme si on commençait l'étude de l'électromagnétisme par les équations de Maxwell-Lorentz, plutôt qu'avec des aimants en mouvement et des bobines de fil métallique, ou l'étude de

la mécanique par la formule $E = mc^2$, au lieu de considérer la chute des pommes et l'oscillation des lustres.

La recherche d'une voie d'accès simple à la mécanique quantique s'est heurtée à un autre obstacle: la philosophie courante veut que le physicien se borne à relier rationnellement les phénomènes entre eux, et que toute recherche d'explication soit futile. Ceci est peut-être vrai en dernière analyse, mais on peut difficilement admettre que la théorie quantique moderne en soit au stade des principes définitifs et irréductibles. Accepter la dualité, l'incertitude et la complémentarité comme des articles de foi intangibles était peut-être une attitude avantageuse au début, lorsque les physiciens tâtonnaient dans les ténèbres à la recherche d'un terrain solide. Y persister est stérile à la longue, et se rapproche dangereusement du scholasticisme médiéval. Pourtant, ce n'est pas lorsqu'on reçoit avec des sourires de condescendance le retour au bon sens, que recommandent Bridgman, de Broglie, Einstein et Schrödinger, que les connaissances fondamentales progressent.

Nous allons maintenant examiner un essai «d'analyse minutieuse de notre sens commun» qui part de considérations assez éloignées à première vue de la théorie quantique, puisqu'il n'y est même pas question de la constante h de Planck. Nous cherchons à mettre à profit un fait d'expérience commune: que l'effet doit être une fonction continue de la cause, ou encore, qu'une cause infinitésimale ne doit jamais entraîner un effet fini. Nous nous proposons de montrer que cette continuité de cause et d'effet, fait d'expérience courante, implique, à l'échelle microscopique, l'existence d'événements discontinus, dépendant plutôt de probabilités que d'un enchaînement causal (voir section I). On peut alors se demander s'il n'y aurait pas, par hasard, des lois définies reliant, sinon des événements individuels, du moins des groupes statistiques d'événements. Mais ces groupes, également, n'ont que des relations mutuelles lâches, et il n'y a pas de relation à détermination unique entre les probabilités des divers événements. Au lieu d'essayer d'énoncer les relations ambiguës qui relient des probabilités définies, il vaut mieux d'abord introduire des «amplitudes de probabilité» ψ, à définition ambiguë. Ce ne sont que des vecteurs, qui donnent une direction aux transitions d'un état aux autres, et sont reliés entre eux par une loi de relation bien définie (voir section II). Nous espérons rendre compréhensibles les points essentiels de ces considérations par une analogie géométrique familière, et soulever le rideau de mystère qui a toujours dissimulé les ψ sous les symboles complexes habituels.

On trouvera dans les sections I et II un cadre fondamental, mais vide, de relations formelles entre probabilités, qu'il faut remplir de matière concrète, c'est-à-dire avec une théorie dynamique, des systèmes mécaniques réels doués d'énergie, de quantité de mouvement, et d'une position dans l'espace et le temps. C'est là seulement qu'intervient le quantum h (section III). La constante de Planck apparaît pour la première fois dans la théorie du rayonnement à propos de l'énergie d'un oscillateur isolé $E = h\nu$, puis à propos de la quantification des orbites (Bohr), et enfin dans les lois quantiques perfectionnées de Schrödinger, Born et Heisenberg. Mais toutes ces lois ont été inventées pour les besoins de la cause, pour exprimer une relation périodique fondamentale entre énergie et temps, et entre quantité de mouvement et coordonnées spatiales. La périodicité a toujours été, et reste encore le caractère le plus étonnant de la micro-mécanique, bien que les experts, après des années d'usage quotidien, semblent avoir oublié ce qu'elle a de hautement problématique. Quand on demandait auparavant pourquoi un oscillateur émet des quanta d'énergie $h\nu$, la réponse était «parce que c'est la formule de Planck». Maintenant, après cinquante-cinq années de recherches quantiques, on invoque «l'équation de Schrödinger» qui s'accorde avec l'expérience. Dans cet article, nous voulons montrer qu'on peut donner une réponse plus satisfaisante, en fouillant jusqu'aux racines, simples et élémentaires, de la théorie quantique.

I. TRANSITIONS ENTRE ÉTATS

Commençons par analyser le contraste entre l'égalité et l'inégalité des objets physiques. Imaginons deux gaz, composés de la même espèce de particules. Celles du gaz A seront par exemple sphériques, celles de B déformées en ellipsoïde. Est-ce que ces gaz sont analogues ou différents? Allons plus loin, peut-on ou non les distinguer? Soyons encore plus réalistes: peut-on ou non les séparer par un système sélectif s'ils sont mélangés? La réponse attendue est celle-ci: si $A = B$, ou si, dans notre exemple, les ellipsoïdes dégénèrent en sphères, alors A et B ne peuvent être ni distingués ni séparés. Mais si B diffère physiquement de A, même à un degré minime, ils sont différents et séparables, au moins en principe. Cependant, cette réponse est en conflit sérieux avec le fait

d'expérience général que l'effet est une fonction continue de la cause. Imaginons en effet un système sélectif — appelons-le filtre A — qui laisse passer toutes les particules A et arrête toutes les particules B, ou peut, d'une autre façon, séparer les A des B. Supposons alors que la différence entre A et B diminue progressivement; le filtre A bloque encore les particules B. Mais au moment où B devient exactement égal à A, le filtre A laisse brusquement passer tous les B. C'est-à-dire qu'une cause infinitésimale, le changement de la différence entre A et B, d'infiniment peu à rien du tout, a un effet fini, le changement de passage complètement interdit à passage complètement libre. On sent intuitivement qu'une variation d'effet aussi brusque est «non-physique», et qu'il ne peut y avoir dans la nature des filtres capables de sélectionner d'une façon aussi raide entre zéro et l'infiniment petit. Gibbs, en 1880, avait souligné les difficultés sérieuses que soulèveraient de tels filtres dans le domaine de la thermodynamique (deuxième principe). Mais Gibbs n'est pas allé jusqu'à la déduction positive, qu'il devait y avoir une suite continue de cas intermédiaires entre le cas $B = A$, où tous les B traversent le filtre A, et B très différent, $B \neq A$, où tous les B sont bloqués par le même filtre A. Il doit plutôt y avoir une suite continue d'états B possibles, avec une «égalité fractionnaire» entre B et A, écrits $B \sim A$, tels que les particules dans ces états B ne traversent pas toutes, et ne sont pas toutes rejetées par le filtre A. $B \sim A$ signifierait alors qu'une certaine fraction statistique des B va passer, et que la fraction restante sera éliminée par le filtre A. C'est là, en fait, la seule façon de réaliser une progression continue vers le passage totalement libre, lorsque l'état B s'approche progressivement du cas $B = A$, en évitant le paradoxe thermodynamique de Gibbs.

On a représenté sur les figures 1 (a) et 1 (b) les deux cas limites $B = A$ et $B \neq A$ (écrits aussi plus tard $B = \textit{non-}A$, ou $B = \bar{A}$). Le cas intermédiaire se trouve sur la figure 1(c). La fraction statistiquement passante P dans ce dernier cas doit être considérée comme la définition opérationnelle de l'égalité fractionnaire entre les états A et B. La même fraction passante P, représente alors la probabilité de passage d'une particule individuelle B, et $1 - P$, la probabilité d'exclusion.

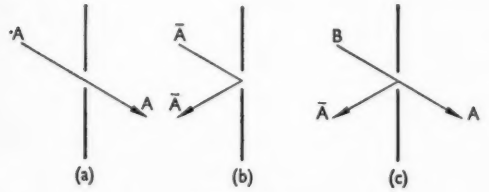


FIGURE 1

Sans faire appel à des hypothèses formulées pour les besoins de la cause, ni à des preuves microphysiques, mais simplement à partir du postulat de continuité entre cause et effet, nous arrivons à un dogme fondamental de la mécanique ondulatoire, à savoir qu'il doit y avoir des états d'un système mécanique (particules, atomes, etc.) intermédiaires entre A et $\textit{non-}A = \bar{A}$, tels qu'un système capable de sélectionner A, ne laissera pas passer tous les B, ne les exclura pas non plus tous automatiquement, mais les admettra ou les exclura suivant un certain rapport de probabilité $P/(1 - P)$.

Il est plausible que ces particules qui, traversant le filtre A, se comportent comme si elles étaient dans l'état A, soient réellement dans l'état A; c'est-à-dire, qu'il y a eu transition de leur état initial B à leur nouvel état A au contact du filtre A. De même, les particules B repoussées par le filtre A, bien que se trouvant dans l'état $\bar{A}$, ont dû «sauter» de B à $\bar{A}$ au moment où elles se sont trouvées repoussées. Ce partage du faisceau incident en composantes A et $\bar{A}$ est représenté sur la figure 1(c). Naturellement, l'existence de ces transitions n'est que plausible, et nullement irréfutable du point de vue logique. Mais ce qui rend ces conclusions plus plausibles, c'est qu'il serait difficile de trouver une autre façon de satisfaire au principe de continuité, avec la figure 1(c) représentant un cas intermédiaire entre les cas limites des figures 1(a) et 1(b). La fraction passante des particules B à travers un filtre A (figure 1(c)) devient la probabilité de transition de l'état initial B au nouvel état A, au contact avec le filtre A. Nous symbolisons cette probabilité par $P(B \rightarrow A)$, ou, plus brièvement $P(B,A)$. Pour des raisons d'équilibre thermodynamique $P(B,A) = P(A,B)$, c'est-à-dire la fraction passante des particules B à travers un filtre A est égale à la fraction passante des particules A à travers un filtre B. Cette symétrie entre les fractions passantes et les probabilités de transition est une caractéristique importante de la théorie quantique.

Examinons un exemple: soit X une coordonnée de position d'une particule dans un petit élément de volume entourant un certain point dans l'espace, et Y un certain niveau d'énergie de la même particule, par exemple l'électron d'un

atome d'hydrogène. Nous savons que l'électron se trouve dans l'état d'énergie Y, et nous cherchons à vérifier ceci avec une jauge ayant un trou (symboliquement) à l'emplacement X. La particule «passera» avec la probabilité P, et sera bloqué avec la probabilité $1 - P$.

Un autre cas intéressant est celui où X représente un état d'orientation dans un atome d'argent parallèle à l'axe des z, le filtre A étant un champ magnétique non-uniforme de direction z', faisant un certain angle avec z. Ce «filtre» de Stern et Gerlach force les atomes incidents à choisir soit la direction $+z'$, et à passer, soit l'orientation $-z'$, et à ne pas passer, c'est-à-dire, à émerger dans une direction différente, si bien que les atomes dans les nouveaux états $+z'$ et $-z'$ sont séparés.

On devrait s'étendre bien davantage sur ces systèmes sélectifs et sur les divers états; par états, il faut toujours entendre états bien définis. Par exemple, les coordonnées de position xyz d'une particule ne constituent pas un état bien défini. Il faut encore leur adjoindre le temps. Dans ce court article, on ne peut développer complètement le fait que seuls des états bien définis sont reliés entre eux par des probabilités définies $P(A,B)$, les probabilités de transition. La plupart des filtres correspondent à des expériences fictives, qui seraient difficiles à réaliser directement; ce qui a fait l'importance de l'expérience de Stern et Gerlach, c'est qu'elle a donné la première confirmation directe de l'existence réelle d'états quantiques distincts, et de leurs relations mutuelles statistiques.

En général, il y a une relation d'égalité fractionnaire entre un état et les autres, $0 < P < 1$, et les cas d'inégalité totale $P = 0$ sont l'exception. Cette remarque permet de mettre un certain ordre dans le chaos de tous les états (bien définis) d'un système mécanique. De l'assemblage désordonné de tous les états, on peut tirer un groupe $A_1A_2A_3 \ldots$ d'états très inégaux entre eux, c'est-à-dire séparables par des filtres, ou, selon l'expression technique, orthogonaux. Parmi les états restants, on peut extraire un autre groupe d'états mutuellement séparables ou orthogonaux $B_1B_2B_3 \ldots$, puis un troisième groupe $C_1C_2C_3 \ldots$, et ainsi de suite, jusqu'à ce que tous les états du système mécanique (particules, atomes, molécules) soient arrangés en groupes orthogonaux:

$$\left.\begin{array}{l}\text{Groupe } A\text{: } A_1A_2A_3 \ldots \\ \text{Groupe } B\text{: } B_1B_2B_3 \ldots\end{array}\right\} \ldots\ldots \quad (1a)$$

et ainsi de suite. Lorsqu'un état A_k est totalement différent (séparable) de n'importe quel autre état du même groupe A, il y a des égalités fractionnaires $P(A_k,B_j) < 1$ entre les états du groupe A et ceux du groupe B, qui se présentent comme des probabilités de transition lors d'expériences statistiques avec des filtres comme celles qui ont été décrites ci-dessus.

Voici le tableau des fractions passantes, ou probabilités de transitions entre les états des groupes A et B:

$$\left\{\begin{array}{cccc} P(A_1,B_1) & P(A_1,B_2) & P(A_1,B_3) & \ldots \\ P(A_2,B_1) & P(A_2,B_2) & P(A_2,B_3) & \ldots \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \end{array}\right\} \ldots \quad (1b)$$

$$\text{abrégé en } = \{P(A,B)\}$$

On peut écrire des tables analogues, ou «matrices» pour les probabilités de transition de A à C, de B à C, et ainsi de suite.

A partir du postulat de continuité qui impose une échelle continue d'égalités entre états, nous avons fait un grand pas dans la théorie générale des transitions entre états sous contrôle probabilitaire; nous avons donc déduit l'armature de la théorie quantique. Naturellement, des considérations aussi générales ne peuvent donner aucun renseignement précis sur les grandeurs exactes des diverses probabilités P classées dans les tableaux; celles-ci dépendront d'une définition plus spécifique des états A et B en termes physiques.

II. AMPLITUDES DE PROBABILITÉ

Passons maintenant à ces amplitudes de probabilité, où se butte tout essai de compréhension des théories quantiques modernes, et qui sont considérées comme un fantôme qui produit des manifestations matérielles [2]. Pourtant, une analogie géométrique simple peut permettre de mieux comprendre le sujet.

Considérons un triangle ABC dont deux côtés P_{AB} et P_{BC} sont donnés. Ceci ne suffit pas à définir la longueur du troisième P_{AC} qui dépend aussi de l'angle entre les deux côtés donnés. Cependant, bien qu'il n'y ait de relation précise entre les trois côtés d'un triangle, il y a certains rapports entre eux. Un côté n'est jamais supérieur à la somme des deux autres:

$$P_{AC} < P_{AB} + P_{BC} \ldots\ldots\ldots\ldots (11a)$$

Cette inégalité du triangle ne détermine la relation métrique entre les points A, B, C, que d'une façon approximative. D'après la relation

$$P_{AC} = (P^2_{AB} + P^2_{BC} - 2P_{AB}P_{BC}\cos\beta)^{\frac{1}{2}}$$

P_{AC} peut prendre une infinité de valeurs puisque β est arbitraire. Si les points doivent être alignés,

elles se réduisent à deux: $P_{AC} = |P_{AB} \pm P_{BC}|$; la même chose se passe si les points doivent se trouver sur un cercle déterminé. Cependant, avec ou sans restrictions de ce genre, on peut remplacer l'inégalité générale (II*a*) entre les P par une égalité entre des grandeurs moins bien définies, les ψ. A chaque longueur $P_{AB} = P_{BA}$, associons un vecteur $\psi_{AB} = -\psi_{BA}$ de grandeur $|\psi| = P$, mais de direction arbitraire. Ajustons alors les directions dans chaque triangle de telle sorte que ces vecteurs satisfassent au théorème d'addition:

$$\psi_{AC} = \psi_{AB} + \psi_{BC} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (\text{II}b)$$

Cette égalité vectorielle est non-contradictoire et générale. Par exemple, on peut remplacer le point intermédiaire B par n'importe quel autre point D. Mais la possibilité d'écrire et d'utiliser cette égalité vectorielle (II*b*) ne nous apporte rien de nouveau au point de vue géométrique; de Pythagore à Riemann, les géomètres ont fait leurs découvertes sans utiliser explicitement le théorème d'addition vectorielle (II*b*). Ils n'en avaient pas besoin, puisqu'il est déjà contenu implicitement dans la géométrie des distances. Les règles vectorielles permettent un formalisme élégant, ce ne sont pas de nouvelles découvertes géométriques, et encore moins de nouvelles lois de la physique. Si l'on trouve que l'égalité vectorielle (II*b*) est toujours vraie, quelles que soient la forme et les dimensions des triangles, ce n'est pas un fait nouveau surprenant mais une question de définition. Incidemment, si les points A, B, C . . ., et partant les vecteurs, sont tous dans le même plan, on peut représenter ceux-ci par un symbole complexe $\psi = |\psi| e^{i\varphi}$, ou φ représente l'angle de direction; il n'en ressort nullement que les vecteurs soient des quantités complexes.

Revenons aux probabilités de transition P classées dans le tableau $P(A,B)$, et dans les tableaux analogues $P(A,C)$, $P(B,C)$, etc. Les probabilités P satisfont à l'inégalité générale:

$$P(A_k,B_j) \leqslant 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (\text{II}c)$$

et elles obéissent à des relations spéciales:

$$P(A_k,A_{k'}) = 0 \text{ pour } k \neq k' \quad \ldots (\text{II}d)$$
$$= 1 \text{ pour } k = k'$$

qui caractérisent les membres du groupe comme des états mutuellement orthogonaux, ou séparables. Les sommes suivantes doivent également être égales à 1:

$$\Sigma_j P(A_k,B_j) = 1 \text{ et } \Sigma_k P(A_k,B_j) = 1 \ldots (\text{II}e)$$

Partant du problème géométrique général, on peut se demander s'il y a une relation ou une équation générale P, entre $P(A,B)$, $P(B,C)$ et $P(A,C)$. La forme de cette relation doit être telle que la loi de sommation générale (II*e*) sera satisfaite pour les éléments du tableau $P(A,C)$ lorsqu'elle le sera pour les tableaux $P(A,B)$ et $P(B,C)$. En fait, on peut écrire une relation entre les trois tableaux P qui satisfassent automatiquement à cette condition de la façon suivante:

Associons à chaque grandeur P un vecteur ψ, dans ce cas de longueur $\sqrt{P}$ et de direction arbitraire φ dans le plan; les deux vecteurs $\psi(A_k,B_j)$ et $\psi(B_j,A_k)$ auront des directions φ et $-\varphi$ respectivement, tout en ayant la même longueur, $\sqrt{\{P(A_k,B_j)\}} = \sqrt{\{P(B_j,A_k)\}}$. Choisissons alors la direction des vecteurs de façon que la règle de multiplication suivante soit satisfaite:

$$\psi(A,C) = \psi(A,B) \times \psi(B,C) \ldots\ldots (\text{II}f)$$

(comparez à la règle d'addition dans l'analogie géométrique). Le signe $\times$ représente ce que l'on appelle une multiplication de matrice et (II*f*) représente en abrégé:

$$\psi(A_k,C_m) = \Sigma_j \psi(A_k,B_j)\psi(B_j,C_m) \quad \ldots (\text{II}g)$$

Puisque tous les vecteurs sont dans un même plan, nous pouvons utiliser la notation complexe $\psi = |\psi| e^{i\varphi}$, et les produits du second membre de (II*g*) doivent s'effectuer en utilisant les règles des nombres complexes. Ce sont là des détails. Voici l'essentiel: de même qu'en géométrie, on peut remplacer la relation imprécise (II*a*) entre trois longueurs P dans un triangle par une égalité entre vecteurs, dont la direction est choisie de façon convenable, on peut remplacer la relation imprécise entre les trois tableaux $\{P\}$, exprimées par les conditions (II*e*) valides pour les trois, par une égalité entre vecteurs dont les directions sont ajustées de telle façon qu'ils satisfassent à la règle de multiplication matricielle (II*f*) ou (II*g*), celle-ci appelée «règle de superposition des ψ». Mais les relations indéterminées entre les grandeurs P une fois admises dans les deux cas, on ne peut considérer comme une nouvelle loi indépendante de la nature ni l'addition vectorielle géométrique, ni la multiplication ou superposition des amplitudes de probabilités. Pour le mathématicien, l'addition vectorielle dans le triangle va de soi, de même que le fait (pour lui ni nouveau ni indépendant) que des groupes de grandeurs (I*a*) caractérisées comme orthogonales par les relations P (II*d*), et satisfaisant à la règle de sommation (II*e*), doivent être reliées entre elles par des transformations orthogonales unitaires, effectivement les équations ψ (II*f*, *g*). Celles-ci ne sont qu'un moyen d'expression élégant; elles sont contenues, implicitement

dans la métrique générale des probabilités réelles. Mais vu l'habitude de représenter les vecteurs du plan par des symboles complexes, pratique d'ailleurs courante en électrotechnique, on a vu naître le mythe du caractère surnaturel de ces quantités complexes ψ, qui malgré leur irréalité insaisissable conduisent à des résultats confirmés par l'expérience d'une façon presque magique. Aussi l'étudiant est-il convaincu que la théorie quantique est bien au-dessus du niveau de compréhension de l'homme moyen — ce qui est peut-être vrai des détails mathématiques, mais pas des idées profondes.

Il se trouvera confirmé dans son opinion lorsqu'il lira que les principes de symétrie qui règlent les interactions entre particules identiques (entre deux électrons ou plus, entre deux atomes d'hélium ou plus, etc.), nous mettent en face «d'aspects de contenu philosophique important, situés au-delà de la compréhension des physiciens . . . qui doivent se contenter d'en accepter les conséquences, sans pouvoir espérer pénétrer au cœur du mystère». Nous citons encore Lennard-Jones [2], dont les travaux contiennent des vues pénétrantes sur le mystère en question. Mais il est difficile de voir pourquoi cela dépasserait la compréhension du physicien que deux particules identiques a et b forment un système où la probabilité de trouver a en x_1 et b en x_2 est égale à la probabilité de trouver a en x_2 et b en x_1. Il n'est pas ésotérique mais naturel que des particules identiques jouent un rôle symétrique lorsqu'il s'agit d'observation. Admettons cette symétrie de la probabilité observable; il s'ensuit que les amplitudes de probabilité correspondantes doivent être symétriques ou antisymétriques; le vecteur ψ doit rester inchangé, ou sa direction doit passer de φ à $-\varphi$, quand a en x_1, et b en x_2 est permuté en a en x_2 et b en x_1. A partir de cette symétrie de la probabilité P, on arrive à des résultats comme l'existence des forces de résonance entre particules identiques, le principe d'exclusion de Pauli, et le principe d'accumulation de Bose (qui n'apparaissent plus comme des principes mais comme des conséquences), les deux statistiques quantiques, et bien d'autres phénomènes. Les principes de symétrie font partie de la théorie générale des relations probabilitaires, plus générale que les dynamiques quantiques des quantités conjuguées p et q, dominées par la constante h.

III. DYNAMIQUE QUANTIQUE

Dans les paragraphes précédents, nous avons établi l'armature structurale de la théorie quantique sans même mentionner la constante h. La constante de Planck n'apparaît que lorsqu'on arrive à des états spécifiquement définis de systèmes mécaniques réels, caractérisés par les diverses coordonnées q à divers instants. L'hypothèse quantique originale de Planck, $E = h\nu$, postulait inévitablement une relation périodique entre énergie et temps. Plus tard Bohr, Sommerfeld et Wilson ont introduit les relations correspondantes entre une coordonnée de position q et sa quantité de mouvement conjuguée p, et ainsi a débuté l'ère de la quantification des orbites. Pourtant on a introduit ces conditions quantiques pour les besoins de la cause, pour expliquer les phénomènes atomiques, et les physiciens ont fait de grands efforts pour faire rentrer cette étrange périodicité dans le cadre de la mécanique classique. Après l'échec de toutes leurs tentatives, ils ont sagement décidé qu'il était encore prématuré de vouloir expliquer les règles quantiques, et qu'il fallait les admettre comme des axiomes. Cette attitude était passagèrement justifiée, mais elle s'est durcie en un dogme: les règles quantiques sont en elles-mêmes fondamentales, irréductibles en notions plus élémentaires, et se passent même de justification additionnelle. Puis, on a trouvé en 1926 des formules nouvelles et meilleures, l'opérateur de Schrödinger, $p = (h/2\pi i)\,\partial/\partial q$, et la règle de commutation de Born $qp - pq = h/2\pi i$. Là encore, on postule une relation périodique entre les coordonnées et leur quantité de mouvement conjuguée, mais plus compliqué que dans les règles antérieures de Planck et de Bohr. Cependant cette périodicité demeure l'énigme principale de la théorie quantique; elle intrigue chaque étudiant et ce n'est que lorsque les experts lui disent qu'il n'y a pas d'autre explication — que le besoin ne s'en fait même pas sentir — qu'il se résigne lentement à l'accepter comme une chose naturelle. Pourtant cette attitude résignée n'est pas nécessaire. Au lieu d'introduire les règles quantiques de Born et Schrödinger comme des hypothèses nouvelles et indépendantes, complétant la règle générale de superposition des ψ (IIg), c'est-à-dire au lieu d'introduire la mécanique ondulatoire de Schrödinger ou la mécanique des matrices de Born et Heisenberg par décret, à partir de preuves microphysiques, on peut montrer que les postulats quantiques de Born et Schrödinger avec leur périodicité sont des conséquences mathématiques de la superposition générale des ψ (métrique probabilitaire), appliquée au cas particulier des quantités p et q conjugués, si on définit la conjugaison de la manière suivante:

Soit une collection de nombreux points matériels indépendants, tous dans le même champ de force extérieur. Les positions et les quantités de mouvement q_0 et p_0 à l'instant initial t_0 peuvent varier d'un point à l'autre, mais toutes les valeurs qp initiales représentent des points à l'intérieur d'un certain volume V_0 de l'espace qp ou espace de phase. Avec le temps, les divers points qp vont se déplacer dans l'espace de phase, et occuperont d'autres volumes V à d'autres instants t. Les équations classiques du mouvement permettent de démontrer ce résultat simple mais important que tous les volumes V conservent la même valeur constante V_0 au cours du temps. C'est le théorème bien connu de Liouville de la mécanique classique. Statistiquement, pour un intervalle de temps suffisant, la probabilité que le point correspondant à un élément de la collection se trouve dans V_0 est égale à la probabilité pour qu'il se trouve en V, si $V = V_0$. Brièvement, la densité de probabilité est constante dans l'espace pq. Ce résultat de la mécanique classique est très général; il est valable non seulement pour des points matériels, mais aussi pour des systèmes de points matériels, des atomes, des molécules, et des systèmes matériels en général. C'est un résultat statistique bien qu'il repose sur les équations déterministes du mouvement.

Or, bien qu'il faille abandonner la mécanique déterministe en faveur d'une théorie statistique (pour sauvegarder la continuité entre cause et effet, partie I), celle-là n'est pas entièrement fausse. A tout point de vue, ce qu'il y a alors de plus vraisemblable, c'est que l'unique caractéristique de la mécanique classique qui doive persister est le résultat statistique relatif à la densité de probabilité constante dans l'espace pq. Ajoutons à cela l'idée familière que seules les différences de coordonnées et de quantité de mouvement, et non leurs valeurs absolues q et p ont une signification physique.

Lorsqu'on applique la règle de multiplication des ψ aux coordonnées conjuguées définies comme ci-dessus, il devient nécessaire mathématiquement [4] que le vecteur $\psi(qp)$ ait une longueur constante pour toutes les valeurs de q et p, et que l'angle qui fixe sa direction change proportionnellement à q si p est donné, et proportionnellement à p si q est donné. Une variation de 360° ramène au vecteur ψ initial; ψ est donc une fonction périodique de q aussi bien que p. En notation complexe, cela s'écrit:

$$\psi(q,p) = \exp \frac{2\pi i q p}{\text{constante}} \quad \ldots\ldots (\text{III}a)$$

C'est la forme la plus simple d'une fonction d'onde de Schrödinger. Le dénominateur constant est en général représenté par la lettre h, devenue familière.

Le lecteur remarquera qu'aucune périodicité n'apparaît, ni dans la densité de probabilité constante dans l'espace qp, ni dans la règle de multiplication ou de superposition de ψ. Ce n'est que lorsque ces deux notions sont combinées, que p et q doivent apparaître dans une formule à probabilité périodique (IIIa) avec la longueur d'onde $\lambda = \frac{h}{p}$. Ceci explique l'étrange périodicité quantique, qui est réduite à un fondement non-quantique, simple et presque du domaine du sens commun, au lieu d'être reliée à des principes ésotériques de dualité et de complémentarité. Naturellement, chacun a son idée particulière sur le mystérieux et le normal. Il est après tout très simple d'utiliser l'opérateur de Schrödinger ou la règle de commutation de Born — si simple en fait, que beaucoup ont oublié que la périodicité quantique est elle-même problématique. Dans cet article, nous avons essayé de montrer que l'on peut vraiment comprendre la théorie quantique comme une conséquence du principe non quantique de continuité de la cause avec l'effet. Celui-ci conduit d'abord à la métrique probabilitaire générale des parties I et II, et appliquées aux coordonnées et quantités de mouvement conjuguées, à la relation probabilitaire périodique entre coordonnées conjuguées, qui est la caractéristique essentielle de la théorie quantique.

BIBLIOGRAPHIE

[1] BRIDGMAN, P. W. *Sci. Mon., N.Y.*, **79**, 32, 1954.
[2] LENNARD-JONES, J. *Ibid.*, **80**, 175, 1955.
[3] LANDÉ, A. «Foundations of Quantum Theory», Yale University Press, New-Haven. 1955.
[4] *Idem. J. Phys. Radium*, **17**, 1, 1956; *Amer. J. Phys.*, **24**, 56, 1956.

Le chant des insectes

par J. W. S. PRINGLE

Les sons émis par les différentes espèces d'insectes ou par les membres d'une même espèce dans des circonstances différentes, se caractérisent par le rythme, plutôt que par le ton ou les qualités musicales comme chez les oiseaux ou les mammifères. L'incapacité de l'oreille humaine à distinguer cette caractéristique a longtemps caché la riche variété des chants d'insectes, mais les moyens modernes d'enregistrement ont maintenant rendu possible leur analyse détaillée.

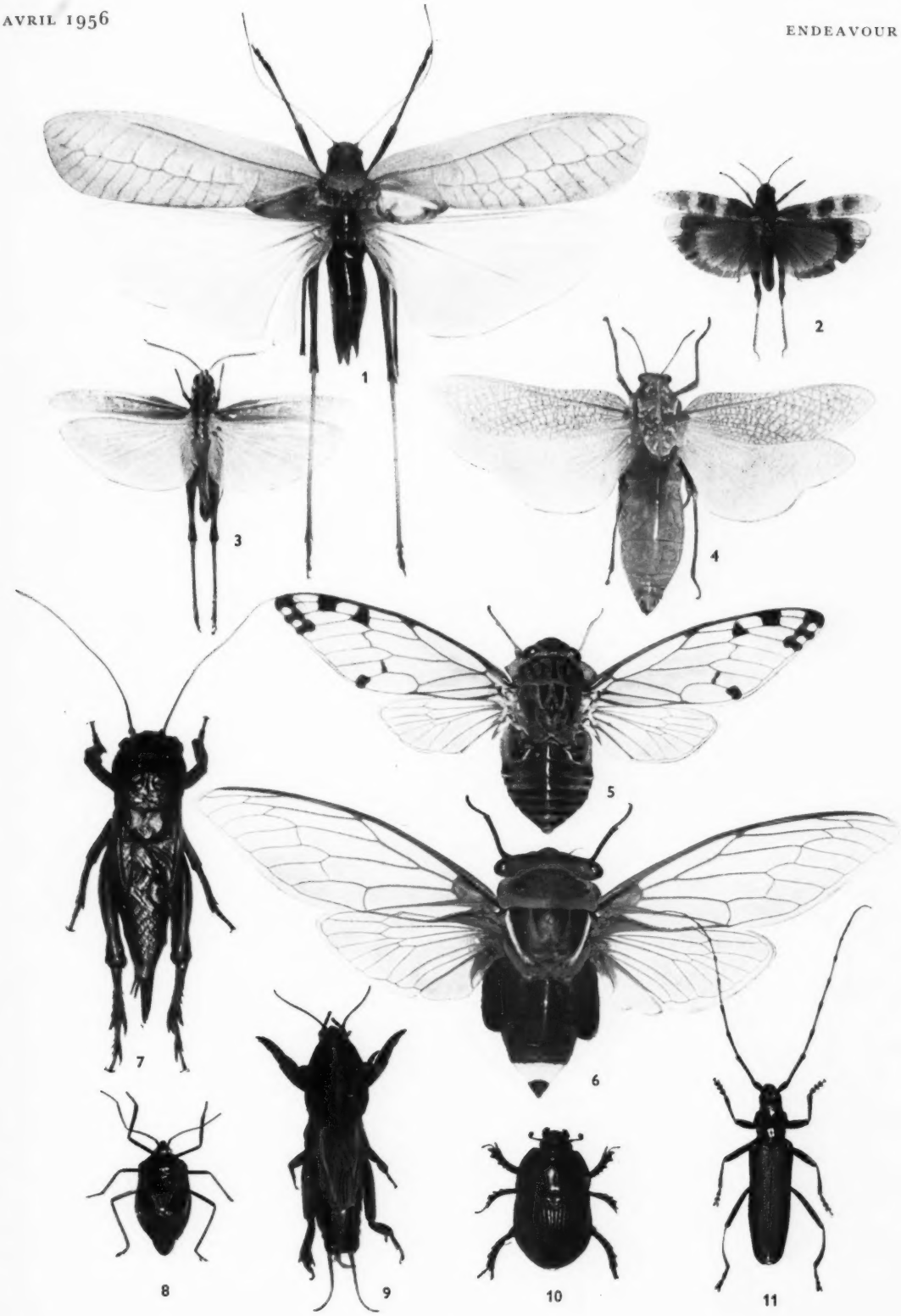
Le nom cingalais de la cigale (*Rāhaiya*) signifie une centaine de nuits et dérive de la croyance que ces insectes chantent tout ce temps puis éclatent. Le villageois montre sur les troncs d'arbres des cigales qui ont subi ce destin; ce sont en fait les dépouilles larvaires fendues dont l'adulte est sorti après plusieurs années d'existence souterraine. Il existe dans le monde des légendes pittoresques similaires, partout où des insectes ont frappé l'homme par leur faculté de produire des sons.

Les chants les plus complexes et les organes les plus compliqués de production des sons sont en relation avec le comportement sexuel. Si l'autre sexe possède des organes sensitifs capables de recevoir le son et de déterminer la direction de sa source, le chant fournit alors aux insectes, en condition physiologique appropriée, le moyen d'arriver à proximité immédiate; d'autres stimuli, ordinairement visuels, peuvent alors se charger des mouvements d'orientation et de copulation. Comme chez tous les autres animaux, excepté l'homme, la production de sons est ainsi une indication de la disposition, cette combinaison d'états internes qui rend l'insecte prêt à un acte particulier de comportement. Le symbolisme abstrait qui caractérise la parole humaine [8] est, autant qu'on le sache, absent du chant des insectes. D'autres dispositions que la préparation sexuelle peuvent s'accompagner de production de sons, notamment l'état d'alerte; le bruit peut alors détourner un prédateur ou avertir d'autres membres de l'espèce. Mais chez les insectes, comme chez les oiseaux [4], les sons produits dans ces conditions ayant tendance à être plus simples et moins spécifiques que ceux qui se rapportent à l'accouplement, tendent aussi à perdre la variété qui, pour le naturaliste, présente le principal intérêt.

Ces dernières années, on a fait beaucoup de progrès dans la compréhension du rôle que jouent les sons dans le comportement des insectes et des mécanismes physiques et physiologiques de leur production. A beaucoup d'égards, ces sons diffèrent fondamentalement de ceux utilisés par les vertébrés, autre grand groupe d'animaux terrestres. Les insectes ne possèdent pas de courant respiratoire capable de provoquer la vibration passive de structures analogues aux cordes vocales, dont le fonctionnement est semblable à celui d'une anche de clarinette. Cependant, la rigidité de leur exosquelette et l'existence de sacs aériens trachéens fournissent une table d'harmonie idéale, capable de transformer efficacement une énergie vibratoire en son transmis par l'air. Il est possible que ceci nous fournisse la clef de beaucoup de caprices étranges de l'évolution structurale des insectes, car le contact de deux parties du corps ou la déformation du squelette, due à la contraction des muscles solidaires, peuvent facilement produire des vibrations. Des études comparatives, chez les cigales et plusieurs groupes d'orthoptères, suggèrent un cours probable de l'évolution des organes producteurs de sons par addition d'une caisse de résonance à un mécanisme producteur de vibrations.

La figure 1 montre quelques insectes chanteurs bien connus. Les numéros 1–4, 7 et 9 sont des orthoptères, 5 et 6 sont des cigales (Homoptères), 10 et 11 sont des coléoptères et 8 est une punaise pentatomide (Hétéroptères). Tous, sauf les cigales, produisent des sons (stridulation) en frottant une partie de leur corps (*pars stridens*) sur une autre

FIGURE 1 – *Quelques insectes producteurs de sons. Grandeur naturelle.* (1) Anaedopoda lamellata (*L.*), *Tanganyika.* (2) Oedipoda germanica (*Latr.*), *Europe.* (3) Scyllina picta (*Bruner*), *Amérique du Sud.* (4) Pneumora variolosa (*L.*), *Afrique du Sud.* (5) Zammara smaragdina (*Walk.*), *Mexique.* (6) Thorpha sessiliba (*Dist.*), *Australie.* (7) Brachytrypes portentosus (*Licht.*), *Inde.* (8) Catacanthus violarius (*Stål.*), *Nouvelle Guinée.* (9) Gryllotalpa gryllotalpa (*L.*), *Europe.* (10) Geotrupes stercorarius (*L.*), *Grande-Bretagne.* (11) Aromia moschata (*L.*), *Grande-Bretagne.*


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11

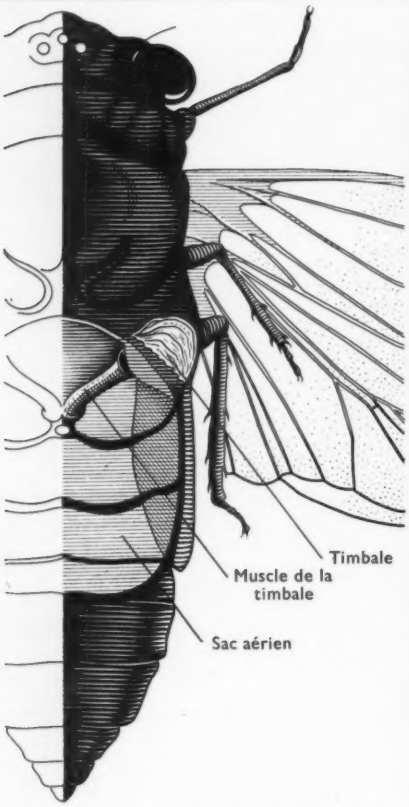
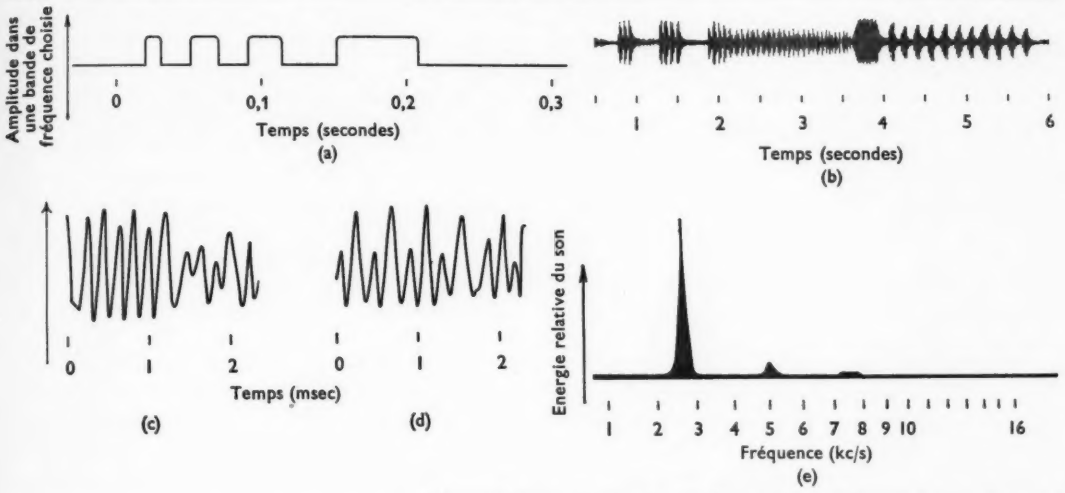


FIGURE 2 – *Organes producteurs de sons d'une cigale* (Platylomia abdulla (*Dist.*)) *vus à travers une fenêtre découpée dans le dos de l'abdomen; le couvercle de la timbale a été enlevé.*

FIGURE 3 – *Photomicrographie de l'appareil stridulant abdominal de* Prestalia granulata (*Stål.*) (*Pneumoridae*).

(*plectrum*), une des parties présentant souvent une rangée de denticules qui accroissent la résistance au frottement. Les cigales utilisent la déformation d'une région spécialement modifiée du squelette: deux plaques convexes de la région pleurale du premier segment abdominal sont déprimées au moyen d'une paire de gros muscles reliés à ces «timbales» par l'intermédiaire d'un plateau tendineux. Quand les muscles se relâchent, les plaques recouvrent leur convexité en produisant un bruit sec (figure 2) [9]. On peut voir cet organe chez *Zammara smaragdina* (figure 1, nº 5), mais plus habituellement il est recouvert d'un repli protecteur de cuticule, comme chez *Thorpha sessiliba* (figure 1, nº 6). Tout l'abdomen du mâle de cigale — car seul le mâle chante — est occupé par un large espace trachéen rempli d'air, accordé avec la fréquence de vibration de la timbale quand l'abdomen est maintenu en extension par des muscles accessoires spéciaux. Un autre muscle accessoire peut accroître la courbure de la timbale et donc l'intensité du bruit de déclic produit par le fléchissement de la surface [6].

Le système râpe-grattoir présente beaucoup de variations. Chez les grillons (Gryllidae, figure 1, nºs 7 et 9) la râpe se trouve sur la surface inférieure de l'aile droite et le grattoir sur l'aile gauche; les bases des deux ailes, renforcées, fournissent une membrane résonnante. Chez *Anaedopoda lamellata* (Tettigoniidae, figure 1, nº 1), la râpe est sur la surface inférieure de l'aile gauche et l'aile droite seule présente à sa base une membrane vibrante spéciale. Chez les Acrididae, ce sont généralement les pattes postérieures qui servent; *Oedipoda germanica* (Oedipodinae, figure 1, nº 2) a une râpe sur l'aile tandis que chez *Scyllina picta* (Truxalinae, figure 1, nº 3) il est sur le fémur postérieur. Chez le mâle de *Pneumora variolosa* (Pneumoridae, figure 1, nº 4) les pattes postérieures servent aussi, mais la râpe est sur



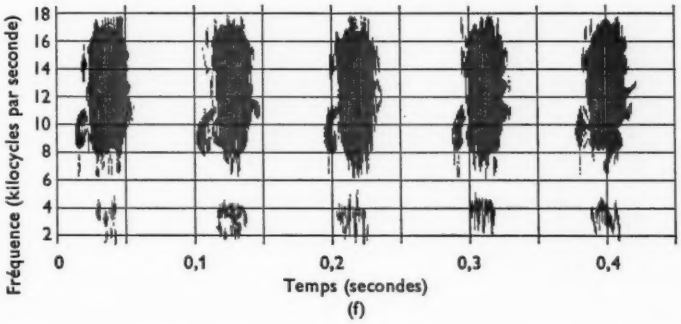


FIGURE 4 – *Chants d'insectes mis en évidence par des appareils d'enregistrement variés.* (a) *Amplificateur accordé.* Amblycorypha oblongifolia (*De Geer*) (*Tettigoniidae* [3]. (b) *Oscillographe.* Terpnosia ridens (*Pringle*) (*Cicadidae*) [6]. (c, d) *Oscillographe à grande vitesse.* Terpnosia stipata (*Walk.*) (*Cicadidae*) [6]. (e) *Analyseur de fréquence.* Oecanthus pellucens (*Scop.*) (*Gryllidae*) [1]. (f) *Spectrographe acoustique.* Neoconocephalus ensiger (*Harris*) (*Tettigoniidae*) [2].

l'abdomen (figure 3) qui présente de plus des sacs aériens semblables à ceux des cigales. Chez les Coléoptères, le son est produit par le frottement du prothorax sur le mésothorax (*Aromia moschata*, Cerambycidae, figure 1, nº 11); par mouvement des hanches postérieures (*Geotrupes stercorarius*, Scarabeidae, figure 1, nº 10); ou par frottement de l'extrémité de l'abdomen sur les élytres, comme chez le petit coléoptère aquatique *Hygrobia hermanni* (Peloriidae) qui peut même émettre son cri sous l'eau. Parfois les larves aussi ont des organes stridulants et produisent lorsqu'on les capture une vibration qui peut bien effrayer un oiseau chasseur. Chez les hémiptères nous trouvons à peu près la même variété.

Les méthodes de production de son chez les insectes et chez les vertébrés sont donc très différentes, mais la qualité de leurs sons l'est aussi. Depuis toujours les naturalistes tenaient ce fait pour évident, mais seules les méthodes d'enregistrement modernes ont permis d'élucider pleinement les caractéristiques de ces sons. La petite taille des insectes limite la fréquence pour laquelle les structures de leur corps peuvent résonner, et les hautes fréquences, même supersoniques, sont de règle. Le son tend aussi à se fragmenter en séries d'émissions très courtes et l'on peut relier ce fait à la physiologie fondamentalement différente des organes auditifs. En effet, l'oreille des vertébrés, au moins celle des membres les plus évolués, à habitat terrestre, du subphylum, est formée d'un groupe de terminaisons nerveuses cochléaires sensibles chacune à une bande de fréquence légèrement différente d'une terminaison à l'autre, ce qui lui permet de distinguer la hauteur d'un son reçu. Au contraire l'oreille des insectes est soit non accordée, soit accordée pour une seule bande de fréquence et envoie dans le nerf acoustique des influx qui suivent la modulation ou enveloppe de l'amplitude [7]. La caractéristique de l'espèce ou de la disposition physiologique se traduit par la répartition des trains d'ondes plutôt que par des variations de ton.

Il existe maintenant quatre types principaux d'instruments enregistreurs utilisables pour l'étude du chant des insectes; la figure 4 représente les

tracés qu'ils fournissent. On peut déterminer les caractéristiques de temps avec un amplificateur accordé; la figure 4(*a*) traduit un seul cri du chant d'un katydide américain (Orthoptères, Tettigoniidae). Un enregistrement plus rapide montrerait que chacun de ces sons est composé d'une série de trains d'ondes correspondant au dégagement d'une dent de la râpe glissant sur le grattoir de l'autre aile; le cri correspond ainsi à quatre mouvements des ailes. Cette méthode ne met pas en évidence la fréquence du son émis, mais on peut la déterminer approximativement en accordant l'amplificateur.

Si l'on relie le microphone à un amplificateur couvrant une large bande, l'oscillogramme obtenu fournit un maximum d'informations sur le chant. La figure 4 montre une telle analyse du chant d'une cigale. Les trains d'ondes correspondant aux claquements de la timbale se produisent par groupes sur un rythme compliqué; la figure 4(*b*) montre la «phrase» caractéristique de l'espèce. Des oscillogrammes rapides de chaque train d'ondes (figure 4(*c*), (*d*)) indiquent que la timbale possède plusieurs modes de vibration principalement à 2250 c/s et au second harmonique, 4500 c/s, fréquence de résonance des sacs aériens abdominaux.

La troisième méthode, qu'il est commode d'utiliser comme complément de l'oscillographie, est l'analyse de fréquence. La figure 4(*e*) montre le chant d'un grillon (Orthoptère, Gryllidae); les insectes de cette famille émettent un son dont la fréquence est déterminée par la vitesse de passage des dents de la râpe sur le grattoir, si bien que chaque train d'ondes résulte d'un coup d'aile entier. Ce chant contient peu d'harmoniques et l'oscillogramme de chaque son est une sinusoïde simple. L'analyseur de fréquence ne met pas en évidence les intervalles de temps qui séparent chaque train d'ondes et donc contribue peu à l'établissement des traits essentiels significatifs chez les autres insectes.

L'appareil le plus perfectionné est le spectrographe acoustique. Cette méthode demande l'exécution d'un enregistrement magnétique fidèle du chant utilisant un microphone et un amplificateur, et une vitesse d'enregistrement capable de traduire les plus hautes fréquences. L'enregistrement fait par l'instrument fournit, sur l'axe des x et des y respectivement, les caractéristiques de temps et la fréquence, l'intensité étant donnée pour n'importe quelle fréquence par la densité du trait. On peut faire un choix entre une résolution maximum de fréquence et une résolution maximum de temps en changeant la largeur de bande du filtre analyseur. Le chant de la figure 4(*f*) est celui d'une petite sauterelle Tettigoniidae; chaque note correspond à un mouvement complet d'aile et se compose d'une succession rapide d'impulsions correspondant au nombre de dents de la râpe utilisée. Une fraction appréciable de l'énergie totale du son se trouve dans la partie supersonique et la largeur de la bande des fréquences émises confère au son ses caractéristiques sifflantes pour l'oreille humaine.

La méthode râpe-grattoir de production des sons nécessite des adaptations structurales, mais ne demande pas de modifications majeures de la physiologie. Les hautes fréquences du chant sont dues à la résonance des membranes et à l'utilisation de rangées de denticules. Le mouvement lui-même n'est ni plus rapide ni plus fréquent que les autres mouvements des insectes. Il n'en est pas de même pour le système timbale des cigales et les systèmes analogues des Homoptères. Chez certaines cigales la fréquence des trains d'ondes correspondant aux mouvements de la timbale peut atteindre 400 c/s. Pour réaliser une telle vitesse de contraction et de relâchement le muscle de la timbale présente un cycle d'activité différent de celui de tous les autres muscles striés excepté les muscles alaires indirects des mouches, des abeilles et de certains autres insectes [5]. Ce n'est pas le système nerveux central qui détermine le rythme de contraction, mais, dans le muscle lui-même, un mécanisme de désactivation des fibrilles contractiles par le stimulus mécanique du mouvement de la timbale. Le détail de ce phénomène n'est pas encore bien connu; son élucidation est peut-être le problème le plus important qui se pose encore au zoologiste dans ses recherches sur la physiologie du chant des insectes.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Busnel, R.-G., Busnel, M. C. et Pasquinelly, F. *C.R. Soc. Biol., Paris*, **148**, 859, 1954.

[2] Borror, D. J. *Ohio J. Sci.*, **54**, 297, 1954.

[3] Pierce, G. W. «The Songs of Insects». Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1948.

[4] Marlar, P. *Nature, Lond.*, **176**, 6, 1955.

[5] Pringle, J. W. S. *J. Physiol.*, **124**, 269, 1954.

[6] *Idem. J. exp. Biol.*, **31**, 525, 1954.

[7] Pumphrey, R. J. *Biol. Rev.*, **15**, 107, 1940.

[8] *Idem.* «The Origin of Language». Liverpool University Press. 1951.

[9] Grassé, P.-P. «Traité de Zoologie», Vol. x. Masson et Cie, Paris. 1955.

Le chromatogramme à gaz et liquide

par A. T. JAMES

Chacun connaît l'importance de la chromatographie comme technique d'analyse et de préparation. Grâce au développement récent d'un nouvel aspect de cette méthode, basé sur la distribution sélective des substances entre les phases liquide et gazeuse, son champ d'application s'est encore élargi. La chromatographie à gaz et liquide n'est applicable qu'aux substances volatiles mais elle a le même rayon d'action que la distillation sous ses diverses formes, à laquelle elle ressemble d'ailleurs de près puisqu'elle convient même à des substances dont la pression partielle dans la colonne ne dépasse pas 1 mm de mercure.

La distillation, à l'origine un procédé pour séparer les substances volatiles de leurs impuretés non-volatiles, est sans doute la méthode de séparation la plus ancienne qu'on connaisse. Avec le temps elle s'est transformée en une technique complexe pour le fractionnement de mélanges de substances ayant des volatilités différentes. En principe, cependant, elle est éminemment simple: le courant de vapeurs émis par le mélange bouillant s'élève dans une colonne verticale où il rencontre le courant descendant de vapeur condensée; les divers constituants du mélange se répartissent ainsi dans l'un ou l'autre courant selon leur volatilité relative, les plus volatils se concentrant au sommet de la colonne, les autres à la base. Pour que le degré de séparation soit élevé il faut que la vapeur et le liquide soient en état d'équilibre aussi souvent que possible. L'état d'équilibre ou plaque théorique est, par définition, un segment de colonne d'une longueur telle que la vapeur qui s'en dégage au sommet soit en équilibre avec le liquide qui s'en écoule à la base. A cette fin on introduit dans la colonne certains dispositifs — capsules de barbotage, sections de gaze métallique, etc. — permettant d'établir un contact aussi intime que possible entre la vapeur et le liquide. Plus la plaque théorique est courte, plus il y en a dans une longueur donnée de la colonne et plus il est aisé d'obtenir des fractions pures. L'efficacité des meilleures colonnes de fractionnement de laboratoire est élevée et peut atteindre jusqu'à 200 plaques, mais celle des colonnes industrielles à gros rendement l'est beaucoup moins.

Comme la colonne de distillation est remplie du mélange à séparer, les fractions à recueillir se suivent sans interruption et se chevauchent toujours; l'amplitude du chevauchement dépend de l'efficacité de la colonne. Dans l'industrie c'est un moindre mal parce qu'il est facile de redistiller les fractions, mais dans l'analyse c'est beaucoup plus grave parce qu'il est impossible d'obtenir un rendement de 100% d'un constituant quelconque. Le chimiste analytique souffre d'un désavantage supplémentaire du fait qu'il est difficile de traiter moins de 5 à 10 g de matière dans une colonne de fractionnement à efficacité élevée. De plus, comme la distillation fractionnée est nécessairement une opération lente, il faut longtemps pour qu'on soit renseigné sur le nombre de constituants d'un mélange complexe.

Dans une variante de la technique de distillation, dite distillation à porteur, on ajoute au mélange une substance chimique inerte bouillant à une température telle qu'un constituant peut être extrait de façon sélective dans le distillat. On a récemment modifié ce procédé de façon originale en remplaçant la vapeur du porteur par un gaz permanent et la phase liquide de la colonne par un liquide non-volatil. Ce liquide est généralement distribué à la surface d'un solide poreux et inerte, du kieselguhr d'ordinaire, entassé dans la colonne. La porosité du bourrage permet au gaz de traverser la colonne au moyen d'une pression peu élevée, ordinairement de 5 à 80 cm de mercure au-dessus de la normale. Lorsqu'un mélange de substances volatiles introduit au sommet de la colonne est entraîné vers la base par le courant de gaz, ses constituants se répartissent suivant leur volatilité relative en divers points du liquide stationnaire. Si la colonne est suffisamment longue les substances émergent tour à tour à la base de la colonne dans le courant gazeux; un rendement de 100% d'un constituant quelconque est donc possible. Ces colonnes, de 1 000 à 2 000 plaques théoriques, sont faciles à construire.

Il s'agit là en fait d'une forme de la chromatographie, celle à gaz et liquide; son comportement est essentiellement analogue à la chromatographie à liquide-liquide, dite de partage, inventée par Martin et Synge en 1941 [1, 11–13].

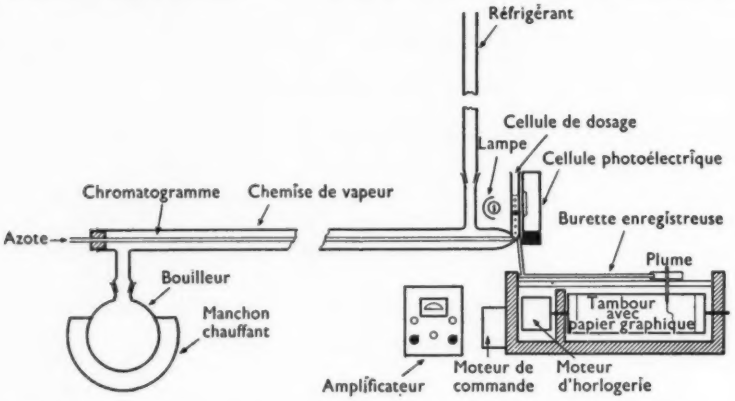


FIGURE 1 – *Diagramme schématique de l'appareil de chromatographie à gaz et à liquide avec dosage automatique pour la détection d'acides volatils (ou de bases volatiles) émergeant de la colonne.*

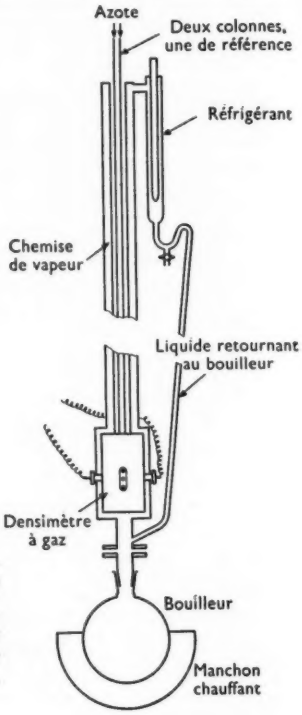


FIGURE 2 – *Diagramme schématique d'un appareil utilisant la mesure automatique de densité pour enregistrer la présence de vapeurs issues de la colonne.*

L'emploi d'un gaz comme phase mobile d'un chromatogramme apporte une série d'avantages: (1) La diffusion rapide dans le gaz permet d'établir promptement l'équilibre avec la phase liquide; (2) la compressibilité du gaz permet d'employer des colonnes longues et étroites même si le courant gazeux est rapide; (3) il est plus facile de déceler des vapeurs dans un gaz permanent que des corps dissous dans un solvant, surtout dans le cas de produits inertes comme les paraffines; (4) même si le courant gazeux est très rapide on peut atteindre une efficacité de colonne très élevée de sorte qu'on effectuera des séparations précises beaucoup plus vite que par toute autre technique.

A l'échelle analytique l'appareil est simple. Il se compose d'un tube étroit en verre ou en métal rempli d'un mélange de la phase stationnaire et de kieselguhr, maintenu à température constante par une chemise de vapeur La colonne est alimentée d'azote à pression constante [1, 2] et le gaz sortant traverse un détecteur qui enregistre automatiquement la quantité de vapeur présente dans le gaz.

Trois méthodes de détection sont couramment employées: dans la première on enregistre la masse totale de produit (ou une fonction de la masse) qui a émergé; dans les deux autres on enregistre la concentration à laquelle la substance émerge.

Un diagramme de masse totale — tel qu'on en obtient en dosant automatiquement (figure 1) les acides volatils (ou les bases) [1], ou en mesurant le volume après élimination du gaz porteur [3] — comprend une série d'échelons représentant l'intégrale des pointes plus courantes des chromatogrammes (figures 3–5). Les instruments qui mesurent la concentration de la substance émergente, les catharomètres [4–6] ou les densimètres à gaz [8] inscrivent des pointes sur le graphique final. Les figures 2 et 6–8 donnent des exemples de leur utilisation.

AVANTAGES DU CHROMATOGRAMME À GAZ ET À LIQUIDE

La figure 4 montre la séparation d'un mélange de mono-, di- et tri-méthylamine effectuée en huit minutes; le graphique donne les proportions relatives de chaque constituant.

On peut employer des échantillons minimes parce que la technique est très sensible; elle convient donc tout particulièrement à la recherche biochimique. De plus la substance qui émerge de l'appareil peut être recueillie le cas échéant et soumise à un examen chimique supplémentaire. Les substances qui se prêtent à cette méthode sont les mêmes que celles qu'on peut distiller, même à des pressions réduites à 1 mm de mercure.

On peut s'arranger pour que l'appareil fonctionne de façon tout à fait automatique. Les colonnes sont faciles à préparer et l'on peut s'en servir des centaines de fois avant qu'elles s'épuisent

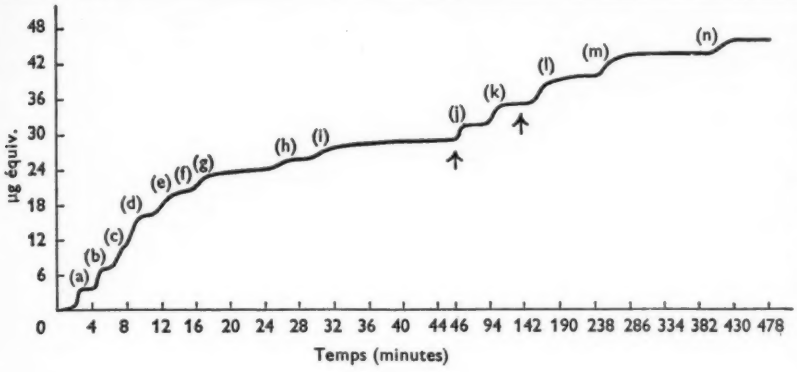
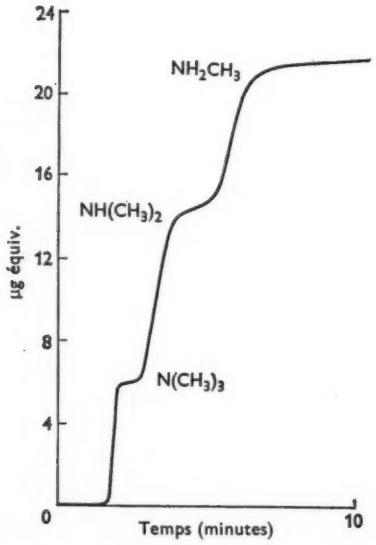


FIGURE 3 – *Séparation de quatorze acides gras dont la chaîne va de C_2 à C_{11}; à la première flèche l'échelle du temps fut raccourcie; à la deuxième le courant d'azote fut augmenté.* (a) *Acide acétique;* (b) *propionique;* (c) iso-*butyrique;* (d) n-*butyrique;* (e) iso-*valérique;* (f) α-*méthylbutyrique;* (g) n-*valérique;* (h) γ-*méthylvalérique;* (i) *hexanoïque;* (j) *heptanoïque;* (k) *octanoïque;* (l) *nonanoïque;* (m) *décanoïque;* (n) *hendécanoïque.*



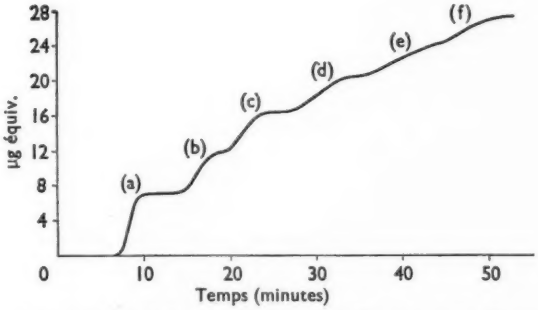


FIGURE 5 (*ci-dessus*) – *Séparation d'amines aromatiques avec détection par titration automatique dans l'acide acétique glacial. Température de colonne:* 137°; *paraffine liquide comme phase stationnaire.* (a) *Aniline;* (b) *méthylaniline;* (c) *diméthylaniline;* (d) m-4-*xylidine;* (e) *diméthyl-o-toluidine;* (f) *diéthylaniline.*

FIGURE 4 (*à gauche*) – *Séparation de la mono-, di- et triméthylamine telle que la burette automatique l'a enregistrée. Température de la colonne:* 78,6°; *phase stationnaire: glycérol.*

par perte de la phase stationnaire. Les résultats peuvent être répétés de façon vraiment remarquable; si la température et la pression de l'azote sont constantes, une substance donnée émergera toujours au même moment.

QUELQUES APPLICATIONS DE LA TECHNIQUE

Une étude des acides gras naturels par l'auteur a révélé la présence non seulement d'acides gras à nombre impair de carbones, dont l'existence avait longtemps été mise en doute [14] mais aussi d'au moins deux types d'acides gras à chaînes ramifiées. Ces acides se rencontrent en quantité appréciable dans des sources qui vont du sébum humain [15] à la graisse du lait de chèvre [16].

Les méthodes chimiques conventionnelles se prêtent mal à l'interprétation de la structure de sous-produits de réaction ou de substances d'origine biologique qui ne sont accessibles qu'en quantités minimes. Lorsque la dégradation chimique peut engendrer des fragments volatils, le chromatogramme à gaz permet d'obtenir les renseignements nécessaires sur leur structure et leur concentration. Par exemple les chaînes latérales attachées au noyau du N-oxyde de 4-hydroxyquinoléine d'un antagoniste naturel de la streptomycine furent identifiées en passant dans une colonne les produits d'oxydation dérivés de 10 mg à peine de la substance impure [17].

En physico-chimie le chromatogramme à gaz peut nous renseigner sur la chaleur latente d'évaporation, l'énergie libre de dissolution, etc., et sur la façon dont ces paramètres varient quand on modifie légèrement la structure. Il serait

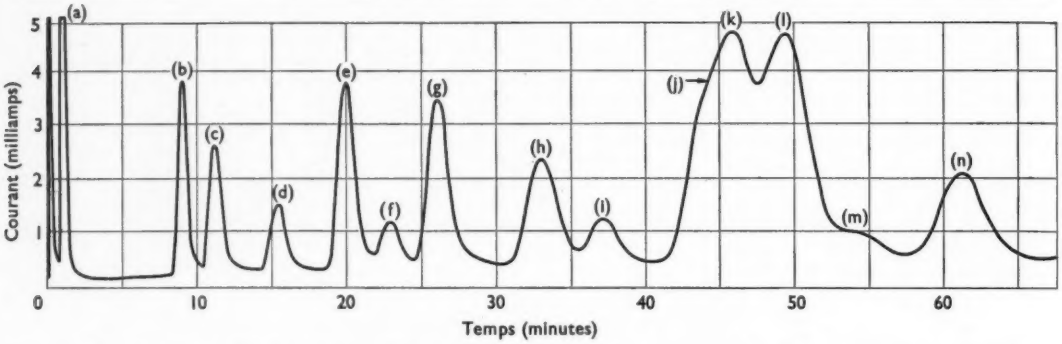


FIGURE 6 – *Séparation d'hydrocarbures aliphatiques. La mesure de densité de gaz sert à identifier les zones émergeant de la colonne. Dans cette figure ainsi que dans les figures* 7 *et* 8 *l'ordonnée représente l'indication du galvanomètre enregistreur.* (a) *Maximum d'air;* (b) iso-*pentane;* (c) n-*pentane;* (d) 2:2-*diméthylbutane;* (e) cyclo*pentane* + 2-*méthylpentane; et* 2:3-*diméthylbutane;* (f) 3-*méthylpentane;* (g) n-*hexane;* (h) *méthyl*cyclo*pentane;* 2:2-*diméthylpentane;* 2:4-*diméthylpentane;* (i) 2:2:3-*triméthylbutane;* (j) 3:3-*diméthylpentane;* (k) 2-*méthylhexane;* (l) cyclo*hexane* + 2:3-*diméthylpentane et* 3-*méthylhexane;* (m) 3-*éthylpentane;* (n) n-*hexane.*

superflu de purifier les substances au préalable comme dans les techniques ordinaires puisque les impuretés sont éliminées d'elles-mêmes au cours de la détermination.

Le pouvoir séparateur accentué de cette technique a souvent eu pour effet de démontrer l'impureté de produits qu'on croyait purs auparavant (figure 7) et son application en synthèse va de soi à divers échelons dans l'examen de produits volatils. La simplicité avec laquelle on détermine la pureté de produits de laboratoire va certainement renforcer le scepticisme des chimistes organiciens à l'égard de la qualité des réactifs commerciaux.

La chromatographie à gaz et liquide n'a pas d'égal dans l'industrie pour le contrôle courant des stocks d'alimentation, des produits volatils intermédiaires et des produits finaux. Le fait qu'elle permet de traiter des mélanges complexes lui confère même certains avantages sur le spectromètre de masse, car les résultats fournis par ce dernier se présentent sous une forme qu'on ne peut interpréter qu'à l'aide d'une grande habileté mathématique. Il ne faudrait pas penser cependant que cette forme de chromatographie peut remplacer le spectromètre ou la technique d'absorption lumineuse, car ces deux méthodes nous donnent plus de renseignements utiles dans le cas d'une substance unique. Une version robuste de cet appareil est facile à construire; elle trouvera sa place à l'usine, car la longévité des colonnes et la reproductibilité des résultats en permettent l'emploi par des opérateurs non qualifiés.

EFFICACITÉ DE LA COLONNE. SES FACTEURS

Les principaux facteurs dont dépend l'efficacité de la colonne [9] sont la vitesse du flux gazeux, l'homogénéité du bourrage, la température et la phase stationnaire.

L'efficacité de la colonne semble dépendre surtout de l'allure à laquelle les vapeurs diffusent dans la phase stationnaire. La largeur des bandes d'une série de zones montre que l'efficacité augmente avec la période d'émergence. Il va de soi que si l'on accroît le courant d'azote on réduit la durée de contact avec la phase stationnaire et, partant, l'efficacité de la colonne.

Les phases stationnaires visqueuses où la diffusion est lente donnent des colonnes peu efficaces; on a donc intérêt à employer un liquide aussi mobile que possible mais peu volatil à la température opératoire. Quand on élève la température de la colonne on augmente son efficacité, qui est proportionnelle à la vitesse de diffusion dans la

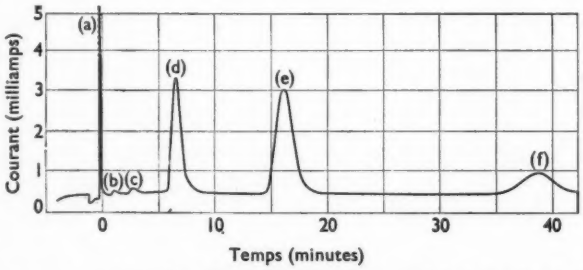


FIGURE 7 – *Analyse d'un échantillon commercial de myristate de méthyle. Température de colonne:* 197°; *phase stationnaire, graisse Apiezon M de robinet à vide.* (a) *Maximum d'air;* (b) *méthyl* n-*octanoate;* (c) *méthyl* n-*décanoate;* (d) *méthyl* n-*dodécanoate;* (e) *méthyl* n-*tétradécanoate;* (f) *méthyl* n-*hexadécanoate.*

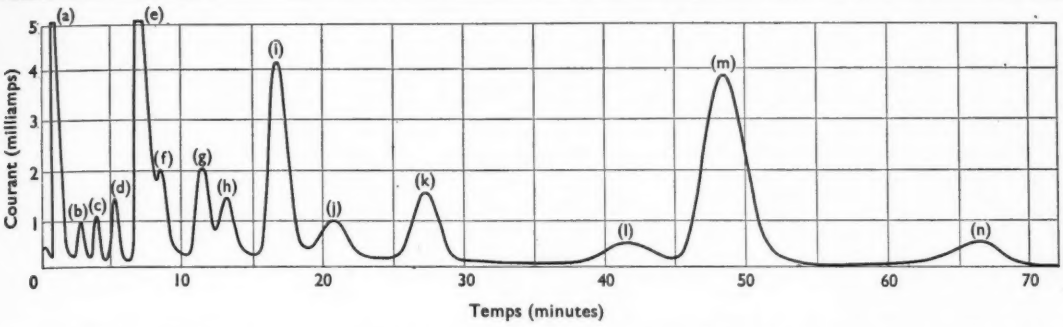


FIGURE 8 – *Séparation d'esters méthyles d'une variété d'acides gras à chaîne droite et ramifiée. Température de colonne* 197°; *phase stationnaire; un extrait d'huile lubrifiante à point d'ébullition élevé.* (a) *Maximum d'air;* (b) *méthyl* n-*pentanoate;* (c) *méthyl* n-*hexanoate;* (d) *méthyl anti-*iso-*heptanoate;* (e) *méthyl* iso-*octanoate;* (f) *méthyl* n-*octanoate;* (g) *méthyl anti-*iso-*nonanoate;* (h) *méthyl* n-*nonanoate;* (i) *méthyl* iso-*décanoate;* (j) *méthyl* n-*décanoate;* (k) *méthyl anti-*iso-*undécanoate;* (l) *méthyl* iso-*dodécanoate;* (m) *méthyl* n-*dodécanoate;* (n) *méthyl anti-*iso-*tridécanoate.*

phase liquide; les facteurs de séparation, par contre, sont abaissés.

STRUCTURE CHIMIQUE ET COMPORTEMENT CHROMATOGRAPHIQUE

L'interprétation du comportement de diverses substances sur des chromatogrammes à liquide et solide et à liquide et liquide est compliquée par l'action réciproque des phases. Ces effets sont peu importants dans le chromatogramme à gaz et liquide et dans bien des cas on peut voir que les mouvements relatifs vers le bas proviennent de différences dans l'action réciproque du solvant et du corps dissous.

Dans les colonnes où la phase stationnaire est une paraffine, cette action réciproque est seulement du type van der Waals; elle dépend du nombre, de la nature et de la configuration des atomes de la molécule. La figure 9 illustre cette conception dans le cas d'une variété d'hydrocarbures saturés; la phase stationnaire était de l'octadécane normal à 65° et l'on voit le rapport entre le poids moléculaire et la configuration, d'une part, et le logarithme du temps d'émergence, de l'autre (pour la simplicité on emploie un étalon arbitraire pour la mesure du temps). Pour une série homologue le logarithme du temps est proportionnel à la longueur de la chaîne; en effet l'énergie libre de solution augmente d'une quantité fixe (environ 750 cals./g. mole dans ces conditions) pour chaque chaînon —CH_2— additionnel. Comme la fonction est une ligne droite on calculera aisément le temps d'émergence d'un constituant quelconque si l'on connaît le comportemente de deux ou trois membres de la série. Elle facilite aussi l'identification des substances dont la structure est inconnue.

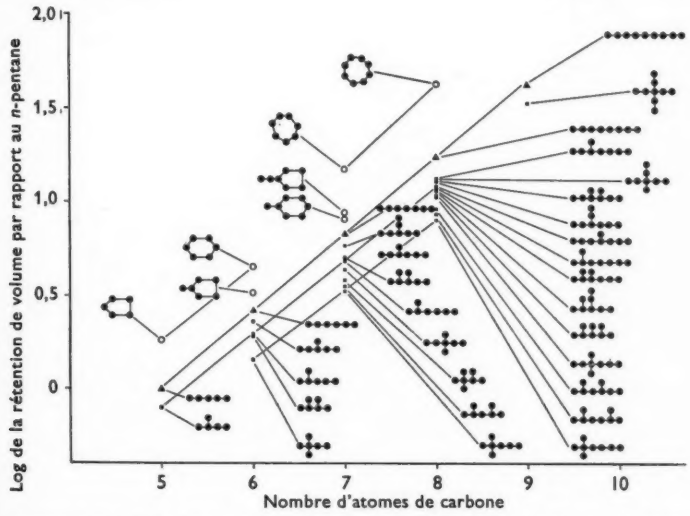


FIGURE 9 – *Relation entre la structure et la vitesse de descente dans la colonne d'une variété d'hydrocarbures saturés (par rapport au* n-*pentane). Température de colonne:* 65°; *phase stationnaire:* n-*octadécane.*

Notons cependant que la proximité des points d'ébullition ne permet pas d'affirmer si une séparation donnée sera possible ou non, car les forces d'interaction dans un liquide pur ne sont pas nécessairement les mêmes que dans la phase stationnaire d'une colonne. Dans le cas de substances

à structure chimique similaire, les hydrocarbures saturés isomères, par exemple, la proximité des points d'ébullition signifie que ces substances se suivront aussi de près dans les chromatogrammes à gaz (voir figure 9). Il est bien plus simple toutefois de séparer des substances ayant le même point d'ébullition mais une structure chimique différente car il est généralement facile de choisir une phase stationnaire ayant une énergie d'interaction plus élevée pour un constituant que pour l'autre.

Dans des phases stationnaires autres que les paraffines l'action réciproque des groupements polaires fait intervenir des forces nouvelles. Un polyéther, par exemple, possédant le leitmotiv $—CH_2CH_2—O—$ tend à former un pont hydrogène avec des substances pourvues d'un hydrogène actif comme le chloroforme, les amines primaires et secondaires, les alcools, les phénols, etc.; avec des substances privées de ces groupes, par contre, seules les faibles forces de van der Waals interviennent. Les hydrocarbures aromatiques ont une affinité accentuée pour les molécules à groupes polaires $—NH_2$, $—OH$, $—COCH_3$, $—CN$, $—NO_2$; cette énergie croît dans l'ordre donné.

La question qui se pose lorsqu'on envisage une analyse est donc de savoir quelles sont les différences entre les substances à séparer. Des différences dans le nombre et la nature des groupes alcoyles donnent à penser que la séparation sera basée sur des différences d'attraction du type van der Waals; une phase stationnaire saturée est donc indiquée. La présence de groupes à polarité différente suggère l'emploi d'une phase stationnaire capable de réagir avec ces groupes.

Il n'est pas nécessaire de maintenir la colonne à une température voisine du point d'ébullition des produits à examiner; nombre de substances se déplacent assez rapidement dans la colonne lorsque leurs pressions partielles ne dépassent pas quelques millimètres. On a toujours intérêt à employer la température la plus basse possible afin d'obtenir un facteur de séparation élevé. Dans des phases stationnaires à base de paraffines le facteur de séparation du groupe $—CH_2—$ (la période d'émergence d'un constituant par rapport à celle de l'homologue suivant) est 3,5 à 23° mais seulement 1,56 à 200°.

Si l'on mélange des solvants polaires et paraffiniques leur apport de forces de solution est différent de celui que donnerait chaque solvant à l'état isolé. On peut donc s'arranger pour que la phase stationnaire retarde un constituant sélectionné à l'avance. Cette «variable indépendante» supplémentaire permet d'employer bien plus de phases stationnaires qu'on ne l'avait cru auparavant.

La plupart des travaux publiés jusqu'à présent sont consacrés à l'analyse, mais rien ne s'oppose à ce que la méthode soit appliquée à la préparation de produits purs en échantillons de 50 à 100 g [10]. Il est hors de doute que le chromatogramme à gaz et liquide deviendra un outil des plus précieux, tant pour le préparateur chimique que pour le chimiste analytique.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier les éditeurs du *British Medical Bulletin* qui l'ont autorisé à reproduire des diagrammes déjà publiés.

BIBLIOGRAPHIE

[1] JAMES, A. T. et MARTIN, A. J. P. *Biochem. J.*, **50**, 679, 1952.
[2] JAMES, D. H. et PHILLIPS, C. S. G. *J. sci. Instrum.*, **29**, 262, 1952.
[3] JANAK, J. *Coll. Czech. Chem. Comm.*, **19**, [5], 917, 1954.
[4] LITTLEWOOD, A. B., PHILLIPS, C. S. G. et PRICE, D. T. *J. chem. Soc.*, 1480, 1955.
[5] RAY, N. H. *J. appl. Chem.*, **4**, 21, 1954.
[6] *Idem. Ibid.*, **4**, 82, 1954.
[7] CLAESSON, S. *Ark. Kemi Min. Geol.*, **23A**, No. 1, 1946.
[8] MARTIN, A. J. P. et JAMES, A. T. En publication.
[9] POLLARD, F. H. et HARDY, C. J. *Chem. and Ind.*, 1145, 1955.
[10] EVANS, D. E. M. et TATLOW, J. C. *J. chem. Soc.*, 1184, 1955.
[11] JAMES, A. T. *Brit. med. Bull.*, **10**, 170, 1954.
[12] *Idem. Chem. and Process Engng*, **36**, 95, 1955.
[13] *Idem. Research*, **8**, 8, 1955.
[14] HANSEN, R. P. et MCINNES, A. G. *Nature, Lond.*, **173**, 1093, 1954.
[15] JAMES, A. T. et WHEATLEY, V. R. En publication.
[16] JAMES, A. T. et MARTIN, A. J. P. *Biochem. J.* Sous presse.
[17] CORNFORTH, J. et JAMES, A. T. *Ibid.* Sous presse.

Les spermatozoïdes d'oursin

par LORD ROTHSCHILD

Cet article envisage surtout la morphologie des spermatozoïdes d'oursin jusqu'à la fécondation, travail hautement facilité par la microscopie électronique et la technique des coupes minces. On peut maintenant obtenir des coupes d'une finesse atteignant 250Å et voir des structures dont on ne soupçonnait pas auparavant l'existence. On peut faire certaines interprétations sur les fonctions de ces structures, en se servant des autres connaissances acquises sur le phénomène biologique à l'étude.

On a étudié la fécondation chez l'oursin plus que chez aucun autre organisme vivant, pour les raisons suivantes:

1. On peut obtenir les œufs et les spermatozoïdes d'oursin en nombres énormes. La figure 4, photographie de l'oursin commun en Angleterre, *Echinus esculentus*, éjaculant sous l'eau, permet de se faire une idée du nombre de spermatozoïdes produits. Les jets de sperme sortant des cinq orifices génitaux ont en réalité environ 4,5 cm de long et contiennent quelque 100 000 000 de spermatozoïdes. Un oursin peut produire 1000 cm de sperme en une saison de reproduction.
2. Les œufs d'oursin sont transparents et fournissent donc un matériel idéal pour l'observation sous le microscope de ce qui arrive lors de la pénétration du spermatozoïde dans l'œuf.
3. La fécondation se pratique aisément *in vitro*.

L'examen au microscope optique d'un spermatozoïde d'oursin vivant ou coloré révèle qu'il est constitué d'une tête en forme de poire de 3,5 μ de long et 1 μ de large à la base, d'une pièce intermédiaire globuleuse, et d'une queue vibratile d'environ 0,2 μ d'épaisseur et 50 μ de long. La figure 1 reproduit des dessins publiés par le grand microscopiste Retzius en 1910 [11]. A part quelques observations supplémentaires rendues possibles par le microscope électronique et celles de Popa [10] — qui semble avoir joui d'une seconde vue, bien qu'ayant commis quelques erreurs — le dessin de Retzius pourrait être daté de 1956 et non de 1910. Les petites structures réfringentes que l'on peut voir à l'extrémité des têtes dans la figure 1 existent bien, mais sont invisibles dans le spermatozoïde vivant, même avec les plus forts grossissements au contraste de phase.

LA QUEUE ET SON MOUVEMENT

Les spermatozoïdes d'oursin nagent au moyen de déformations en S ou ondes, qui se propagent le long de la queue d'avant en arrière; la fréquence de propagation est de 30 à 40 ondes par seconde. La remarquable microphotographie reproduite dans la figure 9(*a*) (prise par Sir James Gray de l'Université de Cambridge et M. M. Swann de l'Université d'Edimbourg) montre ces spermatozoïdes nageant dans l'eau de mer. Dans les photographies de spermatozoïdes d'oursin prises en utilisant le fond noir, comme dans la figure 9, les têtes apparaissent comme des taches lumineuses brillantes. Le temps d'exposition pour la figure 9(*a*) était de 0,002 sec., ce qui a permis de fixer les queues à un instant donné. Si l'exposition est 0,5 sec. le résultat est très différent (figure 9(*b*)). Dans cette photographie, les spermatozoïdes s'éloignent d'une goutte de sperme mise dans l'eau de mer et les longueurs des traînées blanches montrent le chemin parcouru par les têtes durant l'exposition. Gray [8] a montré que les traces des têtes de spermatozoïdes obtenues dans ces circonstances ne sont pas des hélices, comme on le croirait, mais forment des boucles dans un seul plan. Les boucles résultent de mouvements particuliers de la tête (figure 2) qui à certains moments de chaque cycle peuvent aller vers l'arrière, même si l'ensemble du spermatozoïde se meut vers l'avant par rapport au fond.

Parmi les nombreuses questions qui s'imposent à l'esprit quand on étudie les spermatozoïdes, une des plus importantes et intéressantes est celle du mécanisme de leurs mouvements. Bien que l'hydrodynamique de ces mouvements soit assez bien connue, grâce aux travaux de Gray [7, 8] et de Taylor [15, 16] nous ne possédons pratiquement aucune information sur les modifications qui, à l'intérieur de la queue, sont responsables des ondes observées. Il faut tout d'abord étudier la morphologie de la queue du spermatozoïde. Ce n'est que tout récemment que l'on a pu le faire, car les structures y sont trop petites pour être visibles au microscope optique. Il semble

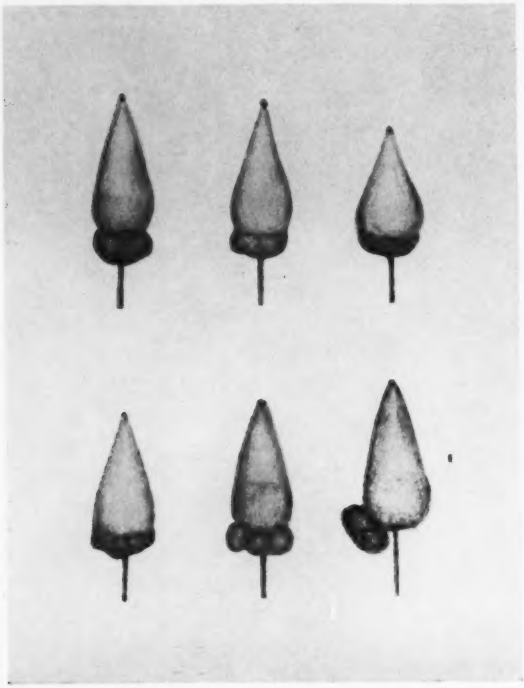


FIGURE 1 – *Dessins de spermatozoïdes d'un oursin* (Echinus esculentus) [11].

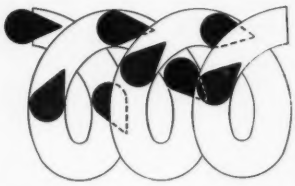


FIGURE 2 – *Schéma montrant les mouvements de la tête du spermatozoïde du* Psammechinus miliaris, *et la traînée due à ces mouvements quand on photographie le spermatozoïde en train de nager, sur fond noir, avec un long temps de pose, comme dans la figure* 9(*b*) [8].

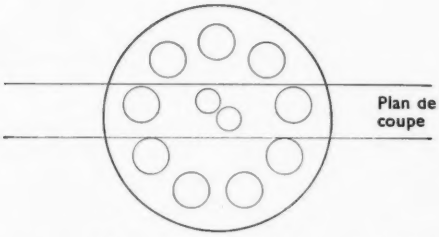


FIGURE 3 – *Schéma montrant le plan de coupe (perpendiculaire au plan du papier) de la microphotographie électronique reproduite dans la figure* 6.

exister une règle générale, valable autant pour l'animal que pour le végétal, que les structures protoplasmiques vibratiles, telles que cils et flagelles, sont constituées de neuf fibrilles disposées en cercle et enrobées dans une matrice protoplasmique à peu près cylindrique, avec deux fibrilles plus petites qui courent le long de l'axe longitudinal du cylindre. Bradfield [2] a montré le premier que la queue du spermatozoïde d'oursin se conforme à ce schéma. Nous ne savons pas avec certitude si les neuf fibrilles, d'environ 300Å de diamètre et les deux centrales, de diamètre d'environ 250Å, sont pleines ou tubulaires. De plus, dans une microphotographie électronique d'une coupe transversale de queue de spermatozoïde d'oursin [1], il semble que les deux fibrilles centrales soient simples, mais que huit des neuf externes soient doubles et la dernière triple; ce qui signifie qu'en réalité il existe dix-neuf fibrilles dans la couche externe, réparties en neuf groupes. Les chances d'obtenir une longueur raisonnable de la queue en coupe longitudinale sont, pour des raisons manifestes, faibles. La microphotographie électronique reproduite dans la figure 6, d'une coupe approximativement longitudinale d'un spermatozoïde d'oursin, montre que, en tout cas dans le voisinage de la tête, il n'existe aucune preuve de disposition en hélice, ni pour les fibrilles externes ni pour les internes, autour de l'axe de la queue. Mais si les fibrilles présentaient une torsion telle qu'un tour complet occupe la longueur d'une onde de la queue, c.-à-d. environ 30 μ (figure 9 (*a*)) nous n'aurions aucune chance d'observer une torsion sur la courte longueur favorable à l'étude de la figure 6. Cette question est importante quand on considère le mécanisme du mouvement.

Dans la figure 6, il existe une ligne noire descendante au milieu de quelque chose qui ressemble à une fibre centrale. Cette ligne est presque certainement due à ce que le plan de coupe était disposé de telle manière que les deux fibres centrales chevauchaient le long de cette ligne comme le montre la figure 3.

La coupe transversale de queue entourée d'un anneau blanc dans la figure 6 contient seulement deux fibrilles. Cette coupe est probablement faite près de l'extrémité de la queue. Suivant Afzelius [1], certaines coupes de l'extrémité de la queue ne contiennent aucun filament.

L'hypothèse la plus raisonnable pour expliquer

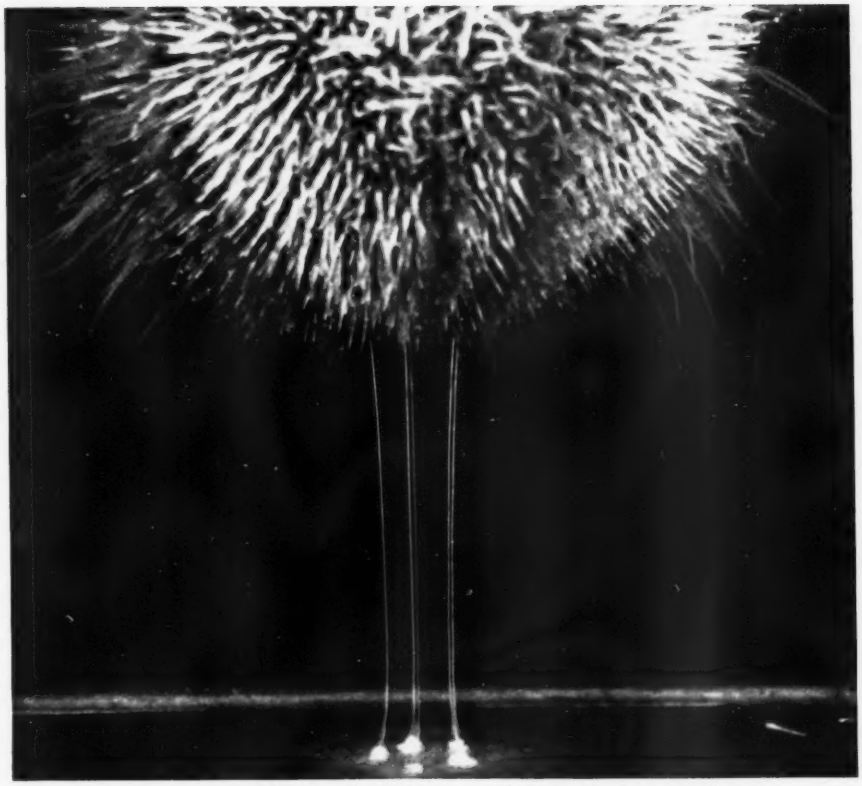


FIGURE 4 – *Mâle d'oursin* (Echinus esculentus) *éjaculant sous l'eau.*

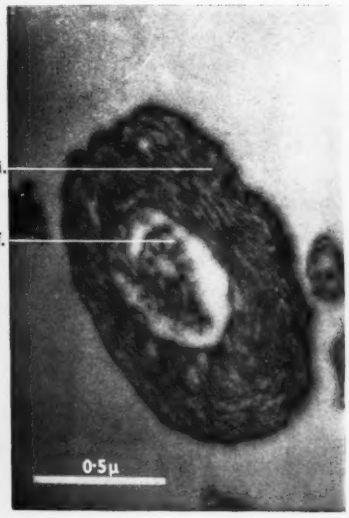


FIGURE 5 – (*a*) *Coupe transversale de la pièce intermédiaire d'un spermatozoïde d'*Echinus esculentus, *au voisinage du centriole. Noter l'absence des deux fibrilles centrales; t.f., anneau externe de fibrilles de la queue; mi., mitochondries. Fixation au tétroxyde d'osmium.*

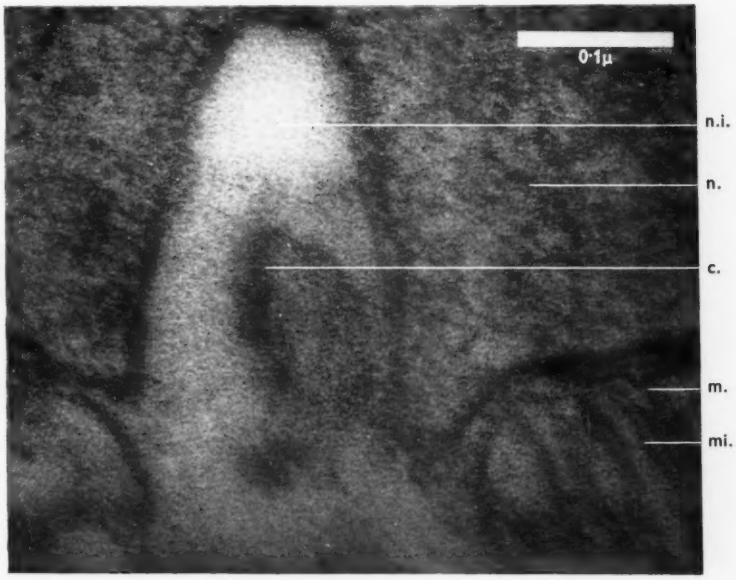


FIGURE 5 – (*b*) *Coupe longitudinale de la partie postérieure de la tête d'un spermatozoïde d'*Echinus esculentus. *La microphotographie électronique montre l'invagination nucléaire (n.i.) qui contient normalement le centriole (c.) dont une partie est visible. Noter les mitochondries (mi.) dans la pièce intermédiaire (m.); n., noyau. Fixation au tétroxyde d'osmium.*

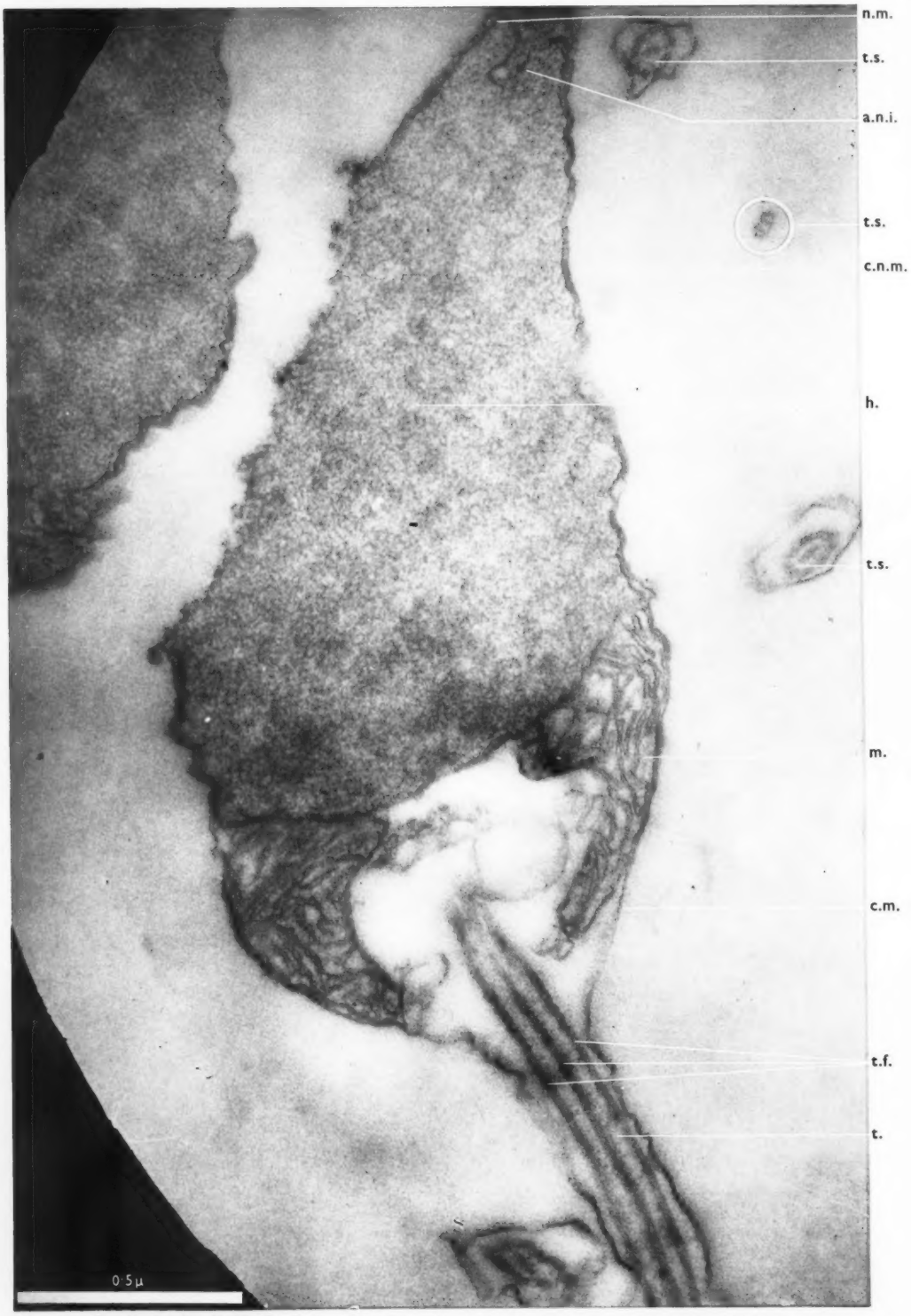


FIGURE 6 – *Coupe longitudinale de la tête, de la pièce intermédiaire et d'une partie de la queue d'un spermatozoïde d'*Echinus esculentus. *La structure située à l'intérieur du cercle blanc est une coupe transversale de la queue près de son extrémité postérieure. c.m., membrane cellulaire; c.n.m., membranes cellulaires et nucléaires; h., tête; m., pièce intermédiaire; n.m., membrane nucléaire; t., queue; t.f., fibrilles de la queue; t.s., coupes transversales de queue. Les coupes supérieures et inférieures représentent la partie postérieure de la pièce intermédiaire. Fixation au tétroxyde d'osmium.*

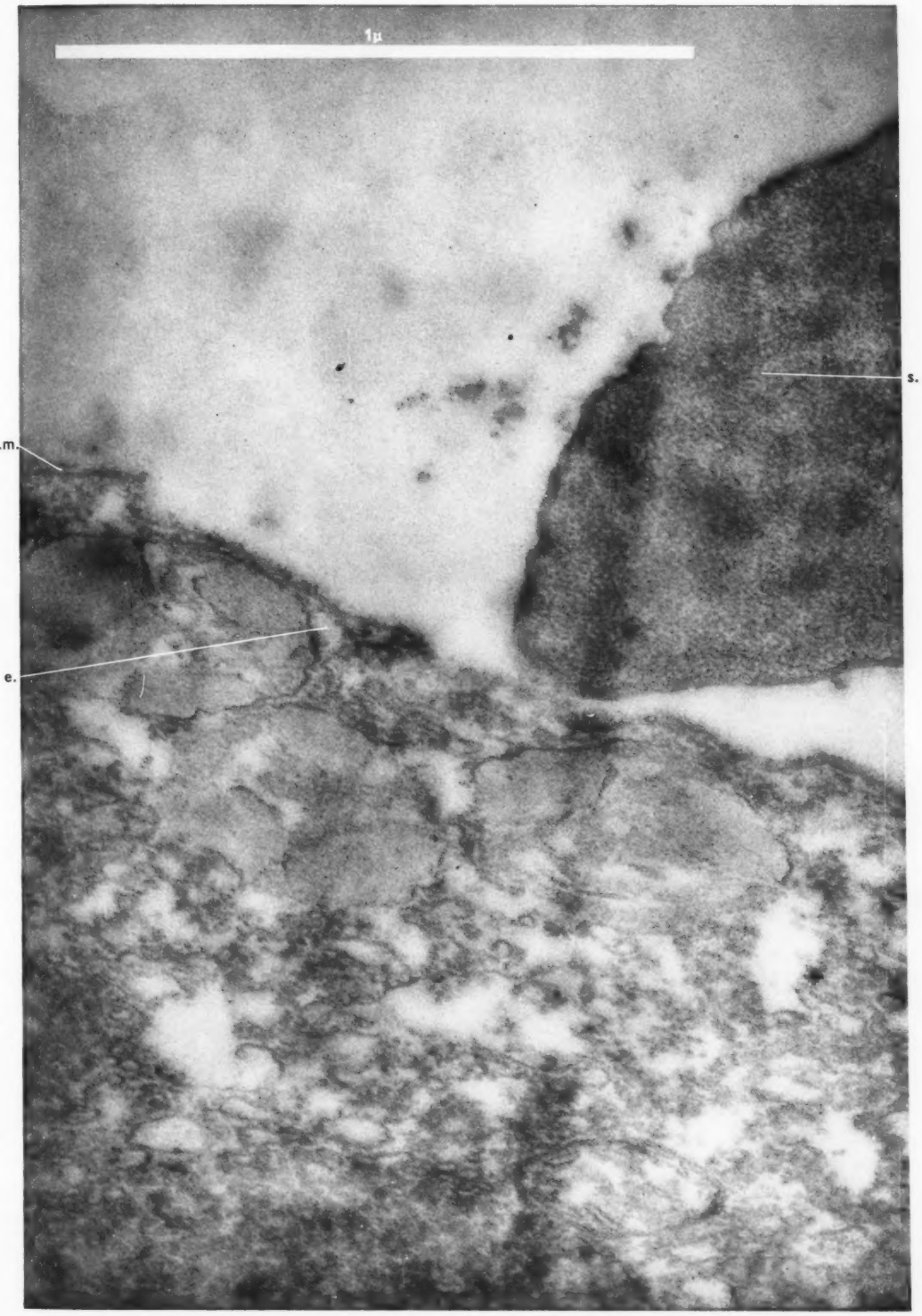
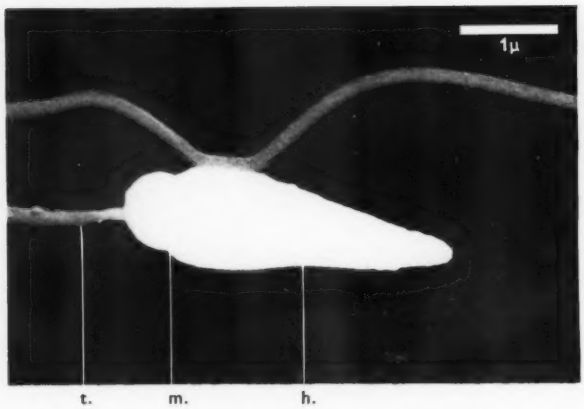


FIGURE 7 – *Spermatozoïde d'*Echinus esculentus *sur, ou très près de, la surface d'un œuf de la même espèce. Fixation au tétroxyde d'osmium 25 sec. après mélange d'œufs vierges et de spermatozoïdes. Disparition apparente de la membrane cytoplasmique (?) au voisinage de l'extrémité antérieure du spermatozoïde. e., œuf; s., spermatozoïde (tête); p.m., membrane cytoplasmique (?).*



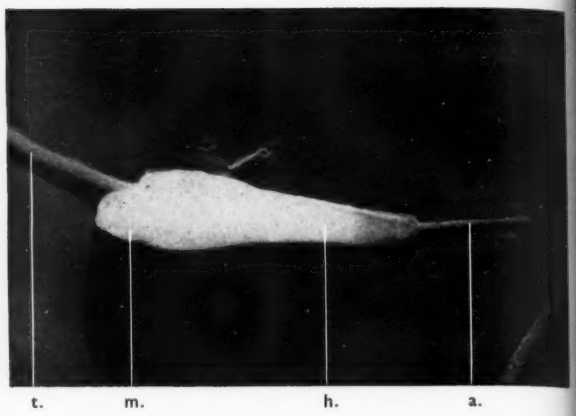


FIGURE 8 – (*à gauche*) *Spermatozoïde d'*Hemicentrotus pulcherrimus *dans l'eau de mer. Sperme dilué dans l'eau de mer puis suspension fixée au formol* 1,5 *min. plus tard* [4]. *h., tête; m., pièce intermédiaire; t., queue.* (*à droite*) *Spermatozoïde d'*Hemicentrotus pulcherrimus. *On a mélangé le sperme avec de l'eau de mer et ajouté des sécrétions d'œufs* 1 *min. plus tard. Agglutination des spermatozoïdes et sortie du filament acrosomial. Le retour en arrière de l'agglutination s'est produit* 3,5 *min. plus tard, et l'on a fixé au formol la suspension au bout de* 4 *min.* [5]. *a., filament acrosomial; h., tête; m., pièce intermédiaire; t., queue.*

FIGURE 9 – (*a*) (*à gauche*) *Spermatozoïde de* Psammechinus miliaris *nageant dans l'eau de mer. Microphotographie de J. Gray et M. M. Swann. Temps de pose* 0,002 *sec.; éclairage à fond noir.* (*b*) (*au-dessus*) *Sperme de* Psammechinus miliaris *dans l'eau de mer à* 17°. *A la frontière de la goutte blanche de sperme, les spermatozoïdes se lancent dans l'eau. Les traînées apparemment hélicoïdales sont dues à des mouvements de translation de la tête du spermatozoïde durant le temps de pose de la microphotographie* (0,5 *sec.*). *Eclairage sur fond noir* [12].

gluti-
retour
rd, et
, fila-

tozoïde
t dans
. Gray
2 sec.;
Sperme
eau de
blanche
nt dans
oïdales
tion de
mps de
Eclai-

les ondes qui se propagent le long de la queue d'un spermatozoïde en train de nager, est que certains éléments des neuf fibrilles externes se raccourcissent périodiquement dans un ordre déterminé [8]. Si certains éléments de la queue se cambrent (ce qui implique leur contraction) il doit y exister d'autres structures résistant à la compression. Ces structures peuvent être soit la matrice cytoplasmique qui enrobe les fibrilles, soit la membrane de la queue, soit les deux fibrilles centrales. L'analyse de Gray fait apparaître la contractilité des neuf fibrilles externes comme probable. Mais si elles courent parallèlement à l'axe de la queue, il faut supposer un mécanisme compliqué, analogue à un mécanisme de contrôle nerveux, qui assure la contraction des fibrilles, dans le bon ordre et au bon moment, aux différents points de leur axe longitudinal. Le mécanisme serait moins compliqué si les fibrilles étaient enroulées, car il suffirait que chaque fibrille se contracte comme un tout, dans un ordre déterminé par rapport aux autres, pour réaliser des ondes. Bradfield [3] a invoqué la possibilité que les deux fibrilles centrales chimiquement différentes des neuf externes [9], soient responsables de la conduction d'un «influx nerveux» le long d'un cil. La torsion requise pour le fonctionnement d'un tel mécanisme est si faible qu'elle est difficile à observer. En l'absence d'information supplémentaire, on ne saurait donc négliger l'hypothèse la plus simple, de fibrilles tordues, en tout cas pour ce qui est des queues de spermatozoïdes.

La queue du spermatozoïde d'oursin traverse la pièce intermédiaire pour se terminer dans une invagination de la partie postérieure du noyau que l'on peut voir dans la figure 5(*b*), mais pas dans la figure 6 dont le plan de coupe n'est pas suffisamment central pour montrer cette cavité. La queue s'est détachée au cours de l'exécution de la coupe de la figure 5(*b*). La partie antérieure de la queue se termine dans le centriole, qui est un disque incurvé de 0,15 μ de diamètre [1]. Afzelius dit que l'on peut identifier les neuf fibrilles externes sur le bord du centriole, tandis que les deux fibrilles centrales se retrouvent en son milieu. Dans plusieurs coupes transversales faites dans la région du centriole j'ai cependant noté l'absence des deux fibrilles centrales (figure 5(*a*)). Bien que l'on puisse attribuer ce fait à quelque accident survenu lors de la confection des coupes, on a observé la même chose aux extrémités antérieures des cils [6] et il semble probable que l'opinion d'Afzelius soit basée sur une mauvaise interprétation de ses microphotographies électroniques.

Le centriole est, probablement, la structure qui lance les ordres de contraction aux fibrilles. Nous n'avons aucune donnée sur la nature chimique ou électrique de ces ordres, ni sur la façon dont ils sont lancés et il faudra encore quelque temps avant de trouver une technique expérimentale apte à résoudre cette question. Bradfield [3] a publié une hypothèse sur ce sujet, mais la complexité de son schéma est en partie due à son opinion, partagée par Afzelius, que les neuf fibrilles externes ne peuvent être disposées en hélice le long de la queue du spermatozoïde (ou de l'axe longitudinal d'un cil).

PIÈCE INTERMÉDIAIRE

Cette structure (figure 6) est entourée par une double membrane, de 100Å d'épaisseur, et contient des mitochondries d'un type très caractéristique. On croit que la pièce intermédiaire contient les systèmes enzymatiques et la réserve de combustible interne nécessaires au mouvement, bien que l'on possède très peu de preuves expérimentales permettant de l'affirmer. Nous en sommes venus expérimentalement [13] à la conclusion que les pièces intermédiaires des spermatozoïdes d'oursin ayant épuisé leur réserve de combustible interne sont plus petites que celles des spermatozoïdes frais. Nous avons aussi trouvé que la pièce intermédiaire contient beaucoup de lipides, découverte suggestive, car les spermatozoïdes d'oursin métabolisent des phospholipides pour obtenir l'énergie de leurs mouvements. A part ces observations fragmentaires, on sait peu de choses sur la pièce intermédiaire, si l'on excepte les conclusions que l'on tire du fait qu'elle contient des corps analogues aux mitochondries.

TÊTE

La fonction du spermatozoïde est de stimuler le développement de l'œuf et de fournir au futur embryon les gènes d'origine paternelle. Cette dernière fonction est remplie par le noyau du spermatozoïde qui constitue la majeure partie de la tête. Le noyau est entouré par une double membrane, d'environ 150Å d'épaisseur, à l'extérieur de laquelle il en existe une autre, parfois plus mince, qui couvre toute la surface du spermatozoïde (figure 6).

Lors de la fécondation, le spermatozoïde adhère d'abord à la surface de l'œuf, puis pénètre en son intérieur. Pour le faire, il doit traverser la membrane cytoplasmique, probablement composée de

lipides ou de lipoprotéines. On peut voir cette membrane sur la figure 7, qui montre un spermatozoïde adhérant à la surface de l'œuf, ou juste sur le point de le faire. La dissolution de la membrane cytoplasmique, au point de pénétration du spermatozoïde fécondant, est probablement due à une substance que l'on peut extraire des spermatozoïdes d'oursin et que l'on appelle Lysine spermatique (I) ou Androgamone III (A III). A III provoque l'hémolyse des globules rouges du sang et provoque sur la surface des œufs d'oursin des effets analogues à ceux du venin d'abeille ou des détergents [14]. Ce doit être un acide gras à longue chaîne non saturée. On ne possédait, jusqu'à une date très récente que très peu d'informations directes sur la localisation de A III dans les spermatozoïdes d'oursin, bien que, pour des raisons manifestes, elle soit probablement localisée à l'avant de la tête. La figure 6 montre que le sommet de la tête du spermatozoïde se différencie morphologiquement du reste qui contient le matériel nucléaire. Dans les microphotographies électroniques [1], il existe une structure sphérique, à peine visible sur la figure 6, au-dessus de l'invagination nucléaire. On est tenté de croire à la localisation de A III dans cette partie de la tête du spermatozoïde, soit dans le corps sphérique, soit dans l'invagination. On peut voir la dissolution de la membrane cytoplasmique de l'œuf sur la figure 7, au voisinage de l'extrémité antérieure de la tête. A droite et à gauche de cette région cette membrane est intacte, tandis qu'il semble y avoir une substance mettant en relation la tête du spermatozoïde avec la région détruite de la surface de l'œuf. Dans la microphotographie électronique originale, cette substance est un corps sphérique un peu plus petit que celui reproduit par Afzelius. Bien que la coupe du spermatozoïde de la figure 7 soit un peu oblique, ce qui met en dehors du plan de la coupe la pointe extrême de la tête, cela représente déjà une grande chance d'avoir pu saisir la fécondation au moment de l'accollement du spermatozoïde sur la surface de l'œuf et d'avoir réalisé une coupe dans un plan favorable. Ce fait est assez malheureux, car il signifie que l'examen de nombreux œufs dans cette situation précise, pourtant désirable avant de faire des généralisations présente des difficultés considérables.

Dans certaines espèces d'oursins, un filament, parfois appelé filament acrosomial se trouve projeté en avant du sommet de la tête, quand le spermatozoïde arrive au contact de l'eau dans laquelle se trouvent des œufs. La figure 8 (à gauche) montre comment se présentent les spermatozoïdes d'un oursin japonais *Hemicentrotus pulcherrimus*, dans l'eau de mer normale. La figure 8 (à droite) est une microphotographie électronique d'un spermatozoïde de la même espèce, mis dans de l'eau ayant contenu des œufs. Des sécrétions produites par les œufs vierges dans l'eau de mer ont catalysé la sortie du filament acrosomial. La relation entre ce filament et la structure du sommet de la tête du spermatozoïde dans la figure 6 n'est pas claire. Il faudrait davantage d'expériences pour résoudre cette question.

CONCLUSION

Les biologistes «modernes» adoptent parfois une attitude condescendante envers les morphologistes, faisant des comparaisons peu bienveillantes entre leur travail et celui des biochimistes et des biophysiciens. L'auteur espère que cet article aidera à extirper l'idée que la morphologie est un sujet terne et dépassé. Elle est aussi passionnante aujourd'hui qu'au XVIIe siècle, quand Leeuwenhoek étudiait la morphologie de ses animalcules spermatiques.

REMERCIEMENTS

Je remercie vivement le Professeur N. F. Mott, qui m'a permis d'utiliser le microscope électronique Siemens au *Cavendish Laboratory* de l'Université de Cambridge; Mr. R. W. Horne, pour son aide précieuse dans la prise des microphotographies électroniques; le Professeur Sir James Gray, avec lequel j'ai eu de nombreuses discussions stimulantes; et le *Medical Research Council* qui m'a fourni un assistant de recherche.

RÉFÉRENCES

[1] AFZELIUS, B. A. *Z. Zellforsch.*, **42**, 134, 1955.
[2] BRADFIELD, J. R. G. *Quart. J. micr. Sci.*, N.S., **94**, 351, 1953.
[3] *Idem. Symp. Soc. exp. Biol.*, **9**, 306, 1955.
[4] DAN, J. C. *Biol. Bull., Wood's Hole*, **103**, 54, 1952.
[5] *Idem. Ibid.*, **107**, 335, 1954.
[6] FAWCETT, D. W. et PORTER, K. R. *J. Morph.*, **94**, 221, 1954.
[7] GRAY, J. *Quart. J. micr. Sci.*, N.S., **94**, 551, 1953.
[8] *Idem. J. exp. Biol.*, **32**, 775, 1955.
[9] HODGE, A. J. *Aust. J. sci. Res.*, B, **2**, 368, 1949.
[10] POPA, G. T. *Biol. Bull., Wood's Hole*, **52**, 238, 1927.
[11] RETZIUS, G. *Biol. Untersuch.*, N.F., **15**, 55, 1910.
[12] ROTHSCHILD, LORD et SWANN, M. M. *J. exp. Biol.*, **27**, 400, 1950.
[13] ROTHSCHILD, LORD et CLELAND, K. W. *Ibid.*, **29**, 66, 1952.
[14] RUNNSTRÖM, J., TISELIUS, A. et LINDVALL, S. *Ark. Zool.*, **36**A, No. 22, 1945.
[15] TAYLOR, SIR G. I. *Proc. roy. Soc.*, A, **209**, 447, 1951.
[16] *Idem. Ibid.*, **211**, 225, 1952.

La vitesse de la lumière

par L. ESSEN

Il n'existe sans doute pas, en physique théorique et pratique, de constante plus fondamentale que la vitesse de la lumière. Cette importance est reflétée par l'ampleur des efforts déployés pour la mesurer et les nombreux examens critiques des résultats obtenus. Quelques apparences de désaccord entre certaines déterminations faites autrefois donnèrent à penser qu'elle n'était pas à proprement parler une constante, mais qu'elle dépendait de l'instant de la détermination et de la fréquence de la radiation utilisée. Néanmoins, si l'on analyse les résultats des méthodes les plus modernes, cette suggestion se révèle sans fondement.

Ce fut l'astronome Rømer qui, en 1676, mesura le premier la vitesse de la lumière. Il attribua à juste titre les irrégularités observées dans les époques des éclipses des satellites de Jupiter au temps qu'il faut à la lumière pour parcourir le diamètre de l'orbite de la terre autour du soleil. Bradley utilisa cinquante ans plus tard une autre méthode astronomique en relation avec les changements de positions des étoiles en fonction du mouvement de la terre; mais c'est seulement en 1849 que Fizeau fit le calcul à partir d'observations de la durée de parcours d'une pulsation lumineuse à la surface de la terre. Dans la célèbre expérience de Fizeau, la lumière est interceptée par une roue dentée tournant devant la source et réfléchie par un miroir distant d'environ 9 km. Si les pulsations lumineuses réfléchies traversent les crans de la roue, on peut voir une image lumineuse sur l'écran placé en arrière, mais si elles rencontrent une dent, l'intensité de l'image est réduite à un minimum. La vitesse de la roue était réglée de façon à produire cette condition d'intensité minimum. On calculait alors la vitesse de la lumière en fonction de la distance parcourue, de la vitesse de rotation de la roue et du nombre de dents.

Pendant la seconde moitié du XIXe siècle, il fallut connaître la valeur de cette constante pour certains problèmes électriques, par exemple pour calculer les câbles sous-marins, et l'on fit de nombreuses mesures soit par méthode optique, soit par méthode électrique. Faraday, dont on sait la brillante intuition avait déjà suggéré que la lumière était peut-être une manifestation d'énergie électromagnétique, et Maxwell donna corps à cette idée dans sa célèbre théorie électromagnétique de la lumière, selon laquelle la vitesse dans le vide de toutes les ondes électromagnétiques est égale à $(\mu_0\varepsilon_0)^{-\frac{1}{2}}$, où μ_0 est la perméabilité et ε_0 la constante diélectrique du vide, cette vitesse se trouvant ainsi indépendante de la fréquence. Tous les résultats obtenus corroborèrent cette conclusion. La mesure électrique la plus précise, faite par Rosa et Dorsey, donna une valeur de 299 784 ± 30 km/s. La plus célèbre des expériences optiques classiques, faite par Michelson, Pease et Pearson, au moyen d'un faisceau lumineux dans un tuyau métallique de 1600 m où on avait fait le vide, donna 299 774 ± 11 km/s.

En 1941 Birge [1], après un examen critique des expériences, conclut que le chiffre le plus probable était 299 776 ± 4 km/s; on considéra ce chiffre comme assez précis en général pour les applications nouvelles telles que physique nucléaire, radar et radio dont l'importance devenait alors de plus en plus grande. Mais pour ceux qui, comme l'auteur, s'étaient occupés de mesures électriques très précises, la marge de ± 4 km semblait trop optimiste par rapport à la dispersion des résultats qui était d'environ ± 50 km/s. On décida donc de faire une nouvelle détermination au moyen d'un instrument nommé résonateur à cavité, mis au point pendant la dernière guerre pour la mesure de la fréquence des ondes ultracourtes. Il comprend un cylindre métallique creux ou guide d'ondes, fermé aux deux extrémités par des plaques métalliques et relié électriquement à un oscillateur et à un détecteur par de petits trous pratiqués dans les parois. La résonance électrique se produit lorsque la longueur de la cavité est $n\lambda/2$, λ étant la longueur d'onde de la radiation dans le guide et n un entier. Cette condition, qui se traduit par une augmentation brusque du signal du détecteur peut se réaliser en faisant varier soit la fréquence de l'oscillateur, soit la longueur de la cavité. L'intérêt de cet appareil tient à ce que l'on a affaire à une résonance très aiguë qui permet de fixer la fréquence ou la longueur d'onde avec une précision de $1/10^6$, si l'on prend les précautions nécessaires. C'est surtout

en raison de cette précision que la méthode du résonateur à cavité présentait tellement plus d'attrait que la méthode optique.

La relation entre la fréquence de résonance, les dimensions du guide et la quantité $(\mu_0\varepsilon_0)^{-\frac{1}{2}}$ est simple; on peut donc calculer la fréquence en prenant pour $(\mu_0\varepsilon_0)^{-\frac{1}{2}}$ une valeur égale à la vitesse de la lumière dans le vide. Il est plus commode d'étalonner l'appareil en mesurant directement en fonction d'une fréquence standard, la fréquence de l'oscillateur correspondant à une certaine disposition. Si l'on connaît les dimensions et la fréquence, on obtient une certaine valeur pour la vitesse.

La première mesure avec cette méthode fut faite en 1946 au *National Physical Laboratory* [2] avec l'appareil que l'on voit dans la figure 1. Le résonateur à cavité était ce qu'il y avait de plus simple comme construction géométrique; il était monté à l'intérieur d'une enceinte où l'on pouvait faire le vide si bien qu'il n'était pas nécessaire de corriger le résultat en fonction de l'indice de réfraction de l'air. On faisait varier la fréquence de l'oscillateur lentement dans la région des 3000 Mc/s (longueur d'onde 10 cm) jusqu'à la résonance, et l'on pouvait alors faire une lecture sur l'échelle du galvanomètre. On mesurait la fréquence de l'oscillateur correspondant au maximum de la résonance en fonction du standard, et l'on déterminait les dimensions de la cavité par de soigneuses mesures métrologiques. La reproductibilité de cette expérience préliminaire était de ± 1 km/s — environ cinquante fois meilleure que

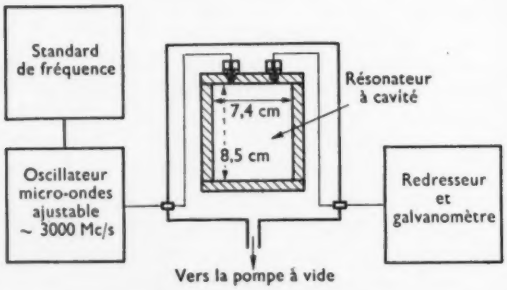


FIGURE 1 – *Mesure de la vitesse de la lumière au moyen d'un résonateur à cavité de dimensions fixes.*

celle de toute détermination précédente — mais il se glissait manifestement quelques petites erreurs systématiques. On y remédia [3] en partie en utilisant la forme de résonateur que montre la figure 2. On fit varier la longueur du résonateur au moyen d'un piston pour obtenir des résonances se succédant à des intervalles de $\lambda/2$. La distance parcourue était mesurée par des cales étalonnées entre l'extrémité de la tige du piston et une plaque fixe à la base. La longueur correspondant à la première résonance n'est pas exactement $\lambda/2$ en raison des effets d'extrémité, mais on peut obtenir la valeur réelle d'après la différence entre deux positions successives. En outre, en effectuant

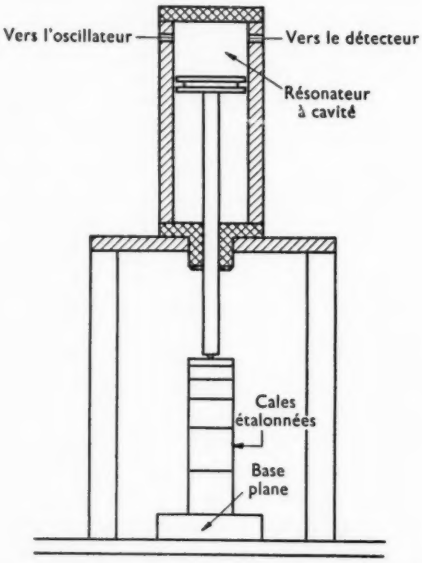


FIGURE 2 – *Résonateur à cavité de longueur variable.*

des mesures à des fréquences diverses — les valeurs utilisées en réalité variaient entre 5000 Mc/s (6 cm) et 11 000 Mc/s (2,7 cm) — il devenait possible d'éliminer des calculs le diamètre et la résistance des parois et d'exprimer le résultat entièrement en termes de fréquences et de longueurs. Cela était un des aspects importants de l'expérience, car il est très difficile de calculer les effets des inévitables imperfections mécaniques et électriques des surfaces.

On a obtenu aussi [4], à l'Université de Stanford, un résultat au moyen du résonateur à cavité, celui-là inférieur de 3 km/s à celui du *National Physical Laboratory*; il se peut que cette petite différence soit due au fait qu' on ne peut, en raison de la forme de la cavité, éliminer expérimentalement les effets dus aux imperfections des parois.

Dans des mesures plus récentes effectuées au *National Physical Laboratory* [5] on s'est servi d'une forme adaptée aux microondes de l'interféromètre de Michelson (figure 3). Des ondes électromagnétiques de 1,25 cm de longueur environ (24 000

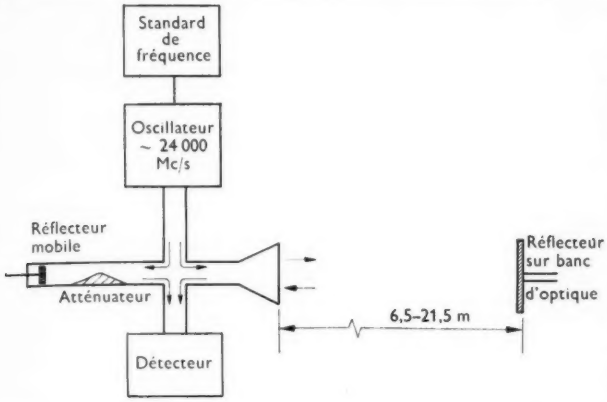


FIGURE 3 – *Mesure de la vitesse de la lumière par un interféromètre du type de Michelson pour haute fréquence.*

Mc/s) parcourent un guide d'ondes jusqu'à une bifurcation où elles sont séparées en deux faisceaux égaux. L'un des faisceaux est émis dans l'air par un cornet et une partie en est renvoyée par un réflecteur placé à distance, retraverse le cornet à la jonction et revient au détecteur. L'autre faisceau est maintenu à l'intérieur d'un guide d'ondes et réfléchi vers la jonction et le détecteur après avoir subi dans le trajet une atténuation égale à celle du faisceau libéré à l'air. Les deux faisceaux d'intensité égale sont ainsi recombinés dans le détecteur et l'intensité du signal dépend de leurs phases relatives. Si l'on rapproche de l'entonnoir le réflecteur extérieur, la phase du faisceau variera de 360° pour un déplacement d'une demie longueur d'onde et le signal passera par des valeurs maximum et minimum. La distance parcourue par le réflecteur extérieur peut ainsi s'exprimer en fonction de la longueur d'onde de la radiation, et comme on peut aussi mesurer la fréquence avec une grande précision, on peut en déduire la vitesse ($c = \lambda f$). Il faut apporter deux corrections importantes, l'une due à l'indice de réfraction de l'air et l'autre à la diffraction de l'onde. L'indice de réfraction fut mesuré [6] au cours d'une expérience préliminaire, avec une précision de $1/10^7$, et l'erreur de diffraction d'environ 16 km/s fut déterminée en combinant la théorie et l'expérience. On attend [7] d'une nouvelle mesure de cet ordre, utilisant des ondes plus courtes, un chiffre où l'erreur maximum ne dépassera pas $\pm 1/10^6$($\pm$ 0,3 km/s).

Il s'est toujours trouvé des gens prêts à spéculer, en se basant sur des preuves plus ou moins valables, sur les variations de la vitesse de la lumière en fonction du temps ou de la fréquence. Il est donc heureux que les résultats récents proviennent de techniques entièrement différentes utilisant une vaste marge de fréquences. Bergstrand [8] a effectué plusieurs mesures optiques très perfectionnées au moyen d'un instrument nommé «géodimètre» destiné à des fins topographiques. Un faisceau parallèle d'ondes lumineuses, modulées à une fréquence de 10 Mc/s par une cellule de Kerr est renvoyé par un miroir distant d'environ 10 km. L'onde réfléchie est détectée par un tube photomultiplicateur dont la sensibilité est accordée sur la fréquence de modulation. L'intensité du signal dépend donc de la phase de l'onde en retour et par conséquent de la distance parcourue. Deux autres caractéristiques font de cette méthode une grande réussite pratique. Le faisceau est modulé par une onde carrée de 50 c/s de façon que, pour des demi-cycles alternés d'une durée de 0,01 seconde, la phase de la modulation de 10 Mc/s soit renversée. Il y a ainsi en fait, parcourant le même chemin, deux faisceaux combinés en opposition par le détecteur pour donner un zéro aigu au lieu d'un minimum aplati, lorsque la distance parcourue se trouve être un nombre entier de demies longueurs d'onde de la modulation. L'autre caractéristique est un court trajet artificiel calibré, réalisé par des réflexions multiples dans un ensemble de prismes, et qui permet de trouver facilement le zéro de l'instrument. Il semble probable que le géodimètre remplacera dans quelques applications les méthodes usuelles du mètre à ruban pour établir les lignes de base, les distances étant déterminées d'après les temps de parcours et la vitesse des pulsations lumineuses, en considérant comme connue la valeur de la vitesse. Mais dans ces expériences de début, cette méthode utilisait des lignes de base géodésiques bien établies, de longueurs connues et a donné des valeurs exactes pour la vitesse des ondes lumineuses. Un géodimètre fut prêté en 1953 par les Etats-Unis au service géographique de l'Armée britannique pour des vérifications expérimentales sur les lignes de base de Ridgeway et Caithness, et les résultats obtenus étaient de très près en accord avec les valeurs géodésiques [9]. L'instrument ayant été d'abord calibré au *National Physical Laboratory*, les mesures peuvent être considérées comme des mesures indépendantes de la vitesse donnant un résultat inférieur de 0,8 km/s à celui de Bergstrand.

Au cours d'une importante série de déterminations, Aslakson [10] utilisa une autre technique

mise au point à des fins topographiques, mais il opéra sur des distances beaucoup plus grandes. Cette méthode est une adaptation du système de radar de Shoran utilisant des fréquences de près de 300 Mc/s (longueur d'onde 1 m). Dans l'utilisation normale, une pulsation d'ondes hertziennes transmise d'un aéroplane est renvoyée par deux stations au sol, et les temps de parcours se lisent sur une échelle de temps inscrite sur l'écran d'un tube à rayons cathodiques, en utilisant un oscillateur à quartz. Les distances de l'avion aux deux stations au sol sont calculées d'après les temps de parcours et la vitesse. En temps de guerre, les graduations étaient disposées de façon à permettre de lire les distances directement, en utilisant la valeur optique de la vitesse de la lumière (299 776 km/s, corrigée en fonction de l'indice de réfraction de l'air), et la position de l'avion se déduisait de ces deux distances. Dans les expériences d'Aslakson, les stations au sol étaient situées en des points distants l'un de l'autre d'environ 160 km, dont l'éloignement avait été déterminé avec précision par les méthodes géodésiques. L'avion traversait la ligne allant de l'une à l'autre et l'on déterminait les distances minima. Si l'altitude de l'avion est aussi connue, on peut calculer la distance au sol entre les stations; c'est alors une comparaison entre les valeurs mesurées qui donne l'erreur de la valeur supposée de la vitesse utilisée dans la calibration de l'échelle des distances. L'une des difficultés principales était la correction nécessitée par l'indice de réfraction de l'air qui varie considérablement sur l'ensemble du parcours. Aslakson put néanmoins obtenir finalement des résultats reproductibles, et l'on se sert depuis des méthodes de radar pour la topographie à vaste échelle, aussi bien aux Etats-Unis [11] qu'au Canada [12].

Résultats de quelques mesures récentes de la vitesse de la lumière (c)

Date	*Auteur*	*Méthode*	*Résultat*	*Dispersion des résultats (km/s)*
1941	Birge	Discussion des résultats antérieurs à 1941	299 776 ± 4	Environ 100
1948	Essen et Gordon-Smith	Résonateur à cavité	299 792 ± 3	7 (y compris les erreurs systématiques)
1949	Bergstrand	Géodimètre optique à cellule de Kerr	299 796 ± 2	4,8 (entre moyennes nocturnes)
1949	Aslakson	Radar	299 792,4 ± 2,4	11
1950	Houstoun [14]	Lame de quartz optique	299 775 ± 9	180
1950	McKinley	Lame de quartz optique	299 780 ± 70	Mesures effectuées en 1937–8
1950	Bergstrand	Géodimètre optique à cellule de Kerr	299 793,1 ± 0,25	5
1950	Essen	Résonateur à cavité	299 792,5 ± 1	1,5 (y compris les erreurs systématiques)
1950	Bol	Résonateur à cavité	299 789,3 ± 0,4	Détails non-publiés
1951	Bergstrand	Géodimètre optique à cellule de Kerr	299 793,1 ± 0,2	5
1951	Aslakson	Radar	299 794,2 ± 1,9	13,5
1951	Froome	Interféromètre à haute fréquence	299 792,6 ± 0,7	2,5
1952	Rank, Ruth et Vander Sluis	Raies spectrales	299 776 ± 7	Analyse par la méthode des moindres carrés
1954	Froome	Interféromètre à haute fréquence	299 793,0 ± 0,3	0,7
1954	Rank, Shearer et Wiggins	Raies spectrales	299 789,8 ± 3	Analyse par la méthode des moindres carrés
1954	Florman [16]	Interféromètre à haute fréquence	299 795 ± 3,1	Analyse par la méthode des moindres carrés
1954	Plyler [15]	Raies spectrales	299 792 ± 6	Analyse par la méthode des moindres carrés
		Valeur la plus probable ..	299 793,0 ± 0,5	

Il existe encore une méthode [13] qu'il faut citer en raison de son intérêt intrinsèque et de son importance possible. Elle s'appuie sur la détermination des constantes moléculaires de l'acide cyanhydrique par spectroscopie optique et par spectroscopie en micro-ondes. Les résultats s'expriment dans le premier cas en termes de longueurs d'ondes et dans l'autre en termes de

fréquence; en combinant les deux, on trouve la vitesse *c*.

Ces mesures récentes au moyen de méthodes aussi différentes ont prouvé qu'on ne peut déceler aucune variation dans la valeur de *c* en fonction de la fréquence et si l'on impose aux premières mesures des limites réalistes, rien ne peut prouver qu'il y a un changement avec le temps.

On s'est souvent demandé comment on avait pu mettre aussi longtemps à déceler une aussi grave erreur dans la valeur de cette importante constante; il y a intérêt à répondre à cette question. Le premier point à se rappeler est qu'avant 1946, les valeurs obtenues étaient les moyennes entre un grand nombre d'observations différant entre elles d'environ $\pm$ 50 km. Il était impossible dans ces conditions de rechercher les petites erreurs systématiques; dans deux des plus importantes expériences cependant, celle de Michelson, Pease et Pearson et celle d'Anderson, les auteurs eux-mêmes attiraient l'attention sur ce genre d'erreurs. Malgré ces avertissements, et peut-être trompés par la succession compliquée des expériences, et l'accord très proche entre les valeurs obtenues au moyen d'appareils très différents, les critiques ont donné une valeur probable avec une très petite marge d'erreur possible. Mais il est très difficile d'évaluer une erreur même aux expérimentateurs eux-mêmes, et cela doit être encore bien plus difficile pour quelqu'un qui n'a pas d'expérience pratique de la méthode. Il n'est donc pas surprenant que les critiques soient arrivés à des conclusions erronées tant en ce qui concerne la valeur du chiffre que son exactitude. De plus, le travail des critiques épargne aux autres savants une besogne fastidieuse et lorsque l'on a publié leurs conclusions, il est rare que l'on se reporte à l'œuvre originale. C'est pourquoi toute erreur a tendance à se perpétuer. L'on faisait tellement confiance au chiffre donné par les critiques que la réaction générale en présence des résultats des premières expériences avec le résonateur à cavité, en dépit de leur haute précision par rapport à toutes les déterminations antérieures, fut de considérer que c'était une nouvelle expérience intéressante qui donnerait sans doute plus tard la bonne réponse, lorsque sa technique se serait perfectionnée.

Dans la liste des valeurs données sur le tableau ci-contre, on indique lorsque c'est possible, la dispersion des résultats expérimentaux, en plus des limites données par les auteurs, afin de donner une idée de la précision des mesures.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Birge, R. T. *Rep. Progr. Phys.*, **8**, 90, 1941.
[2] Essen, L. et Gordon Smith, A. C. *Proc. roy. Soc.*, A, **194**, 348, 1948.
[3] Essen, L. *Ibid.*, **204**, 260, 1950.
[4] Bol, K. *Phys. Rev.*, **80**, 298, 1950.
[5] Froome, K. D. *Proc. roy. Soc.*, A, **213**, 123, 1952.
[6] Essen, L. et Froome, K. D. *Proc. phys. Soc. Lond.*, B, **64**, 862, 1951.
[7] Froome, K. D. *Proc. roy. Soc.*, A, **223**, 195, 1954.
[8] Bergstrand, E. *Ark. Fys.*, **2**, 119, 1950.
[9] Mackenzie, I. C. C. Appendix 6, Ordnance Survey Professional Papers, New Series. No. 19.
[10] Aslakson, C. I. *Trans. Amer. geophys. Un.*, **32**, 813, 1951.
[11] *Idem. Proc. Amer. Soc. civ. Engrs*, **77**, 1, 1951.
[12] Ross, J. E. R. Report for International Union of Geodesy and Geophysics. Tenth Annual Conf. 1954.
[13] Rank, D. H., Shearer, J. N., et Wiggins, T. A. *Phys. Rev.*, **94**, 575, 1954.
[14] Houstoun, R. A. *Proc. roy. Soc. Edinb.*, A, **63**, 95, 1950.
[15] Plyler, E. K. *J. opt. Soc. Amer.*, **44**, 507, 1954.
[16] Florman, E. F. *Ibid.*, **44**, 507, 1954.

Les Perkin, chimistes organiciens

par SIR ROBERT ROBINSON

Cette année, un siècle se sera écoulé depuis que Sir William Perkin découvrit la mauvéine, le premier des colorants de synthèse. Perkin eut le mérite d'en entrevoir les perspectives et l'énergie de les transformer en une réalité. Il fut l'initiateur, non seulement de l'industrie des colorants, mais de l'industrie chimique organique dans son ensemble. L'auteur du présent article, lui-même organicien éminent, rend hommage au talent de ses devanciers, et rappelle leurs apports considérables au progrès de la chimie organique.

C'est apparemment Lomonosof qui établit à St. Pétersbourg en 1748 le premier laboratoire destiné à l'enseignement de la chimie; mais c'est celui que Liebig fonda à Giessen en 1824 qui servit de modèle à ceux qui suivirent et fut le berceau de la chimie organique moderne.

A. W. von Hofmann, admis à l'Université de Giessen en 1836 comme étudiant en droit, devint bien vite un disciple de Liebig et un chimiste de qualité peu ordinaire. En 1843 Liebig le choisit comme assistant particulier. Vers cette époque les autorités britanniques cherchaient un professeur pour le Collège Royal de Chimie, actuellement un département de l'*Imperial College of Science*, et il n'est guère surprenant que leur choix se soit porté sur un membre en vue de l'Ecole de Chimie Agricole de Liebig, étant donné la réputation de celle-ci. Le Prince Consort s'intéressa activement à la nomination d'Hofmann, sur la recommandation de Liebig lui-même. Les dix-neuf ans qu'Hofmann passa en Angleterre sont d'une importance capitale pour trois raisons:

Tout d'abord on peut dire que c'est surtout à Hofmann, ses collaborateurs et ses élèves que l'enseignement et la recherche en chimie organique doivent leur essor, réserve faite des importantes impulsions additionnelles reçues ultérieurement.

Deuxièmement, les découvertes faites, dans la chimie des amines par exemple, vinrent renforcer la théorie, encore à ses débuts, de la chimie structurale des composés carbonés.

En dernier lieu, c'est à cette époque que furent définitivement posées les bases de la chimie organique industrielle.

A tous ces progrès, William Henry Perkin et ses fils, William Henry et Arthur George, firent des apports divers de qualité et d'importance. Sir William n'était pas seulement le prestigieux chimiste aux géniales découvertes, c'était aussi un homme énergique et résolu. Il est un des grands aventuriers de la science. Ayant foi en sa clairvoyance et son jugement, il bravait tous les risques, souvent à l'encontre de l'avis de ses collègues plus expérimentés, et d'Hofmann lui-même. William Henry fils est probablement un plus brillant chimiste que son père, ayant pu travailler dans de meilleures conditions et se consacrer presque exclusivement à la science pure. Quant à Arthur George, autre chimiste de premier ordre, quoique moins brillant que les deux premiers, il occupe une place prépondérante parmi ses contemporains.

Les Perkin sont issus d'une famille de petits propriétaires du Yorkshire ou du Cumberland, et il y a lieu de signaler que dans le pays on attribuait à Thomas Perkin, né en 1757, du goût pour la chimie ou l'alchimie. En effet, Sir William visitant un jour la maison de son grand-père, près d'Ingleton, trouva une cave aménagée en laboratoire. Thomas alla s'établir à Londres comme charpentier et constructeur de bateaux. Son fils et successeur George Fowler Perkin, né en 1802, agrandit l'entreprise. On avait espéré que William Henry, septième fils de George Fowler, né dans la demeure de King David's Fort, à Shadwell, le 12 mars 1838, embrasserait le métier paternel, mais il dit lui-même (New-York, 1906): «J'étais âgé de 12 ou 13 ans quand un ami me fit voir quelques expériences chimiques et le pouvoir merveilleux qu'ont les substances de former des cristaux de forme définie. Ces derniers surtout m'impressionnèrent profondément, me faisant sentir qu'il y avait dans la chimie quelque chose de bien supérieur à tout ce qui m'avait intéressé jusque-là. Ce qui me captivait surtout c'était la possibilité de faire des découvertes. J'avais trouvé ma voie, et je résolus de devenir un chimiste. Tout de suite je me mis à rassembler des bouteilles de produits chimiques et à faire des expériences.»

Le père, qui pourtant avait des idées libérales, ne fut pas facilement convaincu de la sagesse de cette décision, mais il finit par consentir à ce que le jeune William quittât l'école à l'âge de 15 ans pour aller étudier sous la direction d'Hofmann au Collège Royal de Chimie, à Londres.

Il avait 17 ans lorsque les résultats de ses premières recherches originales parurent en 1856 dans le *Journal of the Chemical Society*. Son enthousiasme était tel qu'il travaillait le soir et les jours de fête chez lui à King David's Fort, dans un laboratoire modeste mais répondant à ses besoins. Là il fit, en collaboration avec Church, une étude des produits de réduction du dinitrobenzène et du dinitronaphtalène, qui aboutit à la découverte d'une substance rouge: la «nitrosonaphthyline» à laquelle Hofmann lui-même s'intéressa en 1856 et qui, comme l'ont démontré Perkin et Church, pouvait être obtenu plus simplement par l'action d'un nitrite sur un sel de naphthylamine: il s'agissait de ce que nous appelons aminoazonaphthalène, le premier composé azoïque véritable à être isolé. Son pouvoir tinctorial ayant été reconnu, la substance fut brevetée en 1863. Ceci a un intérêt historique additionnel: c'est la première fois qu'on obtient un colorant azoïque sulfoné par l'action d'un nitrite sur l'acide naphthylamine-sulfonique. Il ne restait plus alors qu'à découvrir les sels d'aryldiazonium et à expliquer la formation de la substance rouge; c'est ce que fit Peter Griess, un autre élève d'Hofmann.

On dit souvent que Perkin découvrit la mauvéine tandis qu'il travaillait dans le laboratoire d'Hofmann, donc sous le contrôle de celui-ci. Cela est faux, car c'est chez lui, dans son laboratoire, que Perkin conçut et réalisa l'expérience. Il est vrai qu'Hofmann avait déclaré auparavant que la synthèse de la quinine devrait être possible et qu'elle était souhaitable. Grâce aux travaux remarquables de Williamson (1852) les masses relatives des composés organiques simples, tels que l'alcool et l'éther, venaient d'être établies et le fameux mémoire de Cannizzaro sur les poids atomiques avait paru. On ne savait pas grand'chose de la structure moléculaire d'un composé cyclique; d'ailleurs ce n'est que depuis une centaine d'années qu'on a commencé à accumuler la prodigieuse somme de nos connaissances sur la structure des corps organiques. On croyait en 1856 que chaque composé à l'état pur avait une constitution empirique et que pour en faire la synthèse il ne s'agissait que de construire une molécule ayant la composition voulue. Ainsi on pouvait, croyait-on, produire de la quinine, $C_{20}H_{24}O_2N_2$, par l'oxydation de deux molécules de $C_{10}H_{13}N$. L'équation s'écrivait

$$2C_{10}H_{13}N + 3O = C_{20}H_{24}O_2N_2 + H_2O.$$

La substance connue la plus rapprochée était la toluidine, C_7H_9N; pour en obtenir $C_{10}H_{13}N$ il fallait substituer à un atome d'hydrogène le radical allyle connu C_3H_5. Perkin traita donc de la toluidine avec de l'iodure d'allyle et obtint l'allyletoluidine recherchée, $C_{10}H_{13}N$. Par oxydation de celle-ci au moyen de bichromate en solution acide, un précipité brun se forma. Ce n'était pas de la quinine, mais Perkin que la réaction avait intrigué refit l'opération, cette fois avec des bases plus simples. Le sulfate d'aniline et le bichromate de potasse donnèrent un précipité noir qu'il essaya d'identifier. Celui-ci traité à l'alcool bouillant donna une matière mauve dont il se servit pour teindre de la soie, et qui se montra assez résistante à la lumière et la lessive. Tout cela eut lieu entre Pâques et le mois de juin 1856. Il envoya à la firme Pullar, de Perth, des échantillons teints et reçut dès le 12 juin la réponse suivante: «Si votre produit n'augmente pas trop le prix des tissus, il est certainement le plus intéressant qui ait été mis sur le marché depuis bien longtemps. Cette nuance est en grande demande pour toutes les catégories de tissus et il a été impossible jusqu'ici d'obtenir un colorant solide pour la soie, et, pour les filés de coton, seulement à grands frais. Je vous mets sous pli un échantillon de ce que nous avons de mieux en fait de cotonnades lilas. Il n'y a qu'une seule maison britannique qui se serve de cette couleur. Elle ne résiste pas aux essais aussi bien que la vôtre et passe à l'air.»

Ainsi encouragé, Perkin va de l'avant. Il décide d'exploiter commercialement sa découverte. Avec l'aide de son frère, Thomas D. Perkin, et de son père qui, au dire de son fils lui-même, engage la plupart du capital accumulé au cours d'une vie laborieuse dans la construction d'une usine et la mise en route de la production, Perkin triomphe de tous les obstacles et fonde non seulement l'industrie des colorants, mais celle de la chimie organique tout entière.

Hofmann, à qui il fait part de ses intentions, reste froid; il en est même contrarié: un faux pas, dit-il, peut compromettre un avenir brillant. Mais Perkin s'obstine; son manque d'expérience en génie chimique ne l'inquiète guère. La raison en est, soit dit très sérieusement, que l'entreprise est d'un genre inédit et ne peut s'inspirer que dans

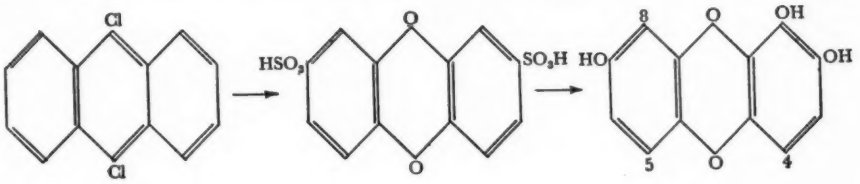
une faible mesure des pratiques existantes. Il se lance dans l'inconnu avec une belle hardiesse et c'est ce qui fait son véritable mérite. Sans doute la découverte de la mauvéine exigeait de l'acuité d'observation, mais c'est un événement banal en soi; ce qui importe c'est que le jeune Perkin voyait loin dans l'avenir. Il semble que c'est par conviction qu'il avait une mission à remplir qu'il s'est laissé entraîner sans hésiter dans des régions inexplorées de la chimie technologique et commerciale. L'ardeur et l'enthousiasme de la jeunesse le détournèrent de la chimie pure, mais dans une mesure modérée: il poursuivait toujours quelque recherche appelée à tort «classique», et il revint sur le tard au domaine qu'il avait quitté. Toujours est-il que le point sur lequel il faut insister c'est que ce n'est pas parce qu'il a découvert la mauvéine qu'il est le véritable fondateur de l'industrie organique, mais parce qu'il en a fabriqué et vendu.

On ne peut s'imaginer les difficultés qu'il rencontra. Le benzène d'abord, récemment extrait de la houille par Mansfield, un élève d'Hofmann, n'était produit qu'en très petites quantités. Une firme de Glasgow fournit par la suite un produit brut qu'il fallut fractionner soigneusement. Puis ce fut la préparation du nitrobenzène qui jusque-là s'effectuait en laboratoire seulement au moyen d'acide nitrique fumant. C'est Perkin qui imagina d'utiliser une mixture d'acide nitrique ou de nitrate de soude, et d'acide sulfurique, et il se servit de cuves en fonte au lieu de ballons en verre, longtemps crus indispensables pour ces opérations. La réalisation de ces grands projets ne se fit pas sans explosions et autres anicroches, mais le courage de Perkin lui assura la réussite. Bientôt il eut des imitateurs; la firme Simpson, Maule et Nicholson, notamment, fabriqua du nitrobenzène et plus tard de l'aniline, qu'ils fournirent à Perkin & Fils quand la mauvéine fut en si grande demande que l'usine de Greenford Green, près de Harrow, ne suffit plus à la tâche.

En 1854 Béchamp avait constaté que l'on pouvait transformer le nitrobenzène en aniline au moyen de limaille de fer et d'acide acétique dilué. Perkin, avec son application habituelle, parvint à industrialiser le procédé: ainsi la fabrication de l'aniline et de ses homologues vint renforcer son droit d'être considéré comme le fondateur d'une industrie plutôt que le simple découvreur d'une matière colorante.

Ce qui caractérise l'industrie des colorants synthétiques c'est que chaque nouveau produit y apporte des changements; il en a été ainsi dès le début jusqu'aujourd'hui. La découverte de la mauvéine par Perkin a encouragé d'autres à faire des expériences sur l'oxydation des amines aromatiques. Un des premiers résultats fut la découverte par Verguin en 1859 de la fuchsine (Magenta), colorant que les Perkin fabriquèrent par le procédé au nitrate de mercure (Knosp, 1859 E. P., T. D., Perkin). On fabriqua d'autres colorants basiques, notamment Dahlia, en faisant agir l'iodure d'éthyle sur la mauvéine, Safranine (Grenville Williams, 1859) et les violets Britannia, obtenus par chauffage de la fuchsine dans une solution de méthanol et de térébenthine bromée sous pression. Chacun présentait une gamme de nuances, et c'est un bleu chauffé avec du chlorure d'acétyle qui a donné le fameux Vert de Perkin. C'est à cette fin que fut entreprise la fabrication du trichlorure de phosphore et du chlorure d'acétyle.

La production de l'alizarine synthétique prit une importance presque égale à celle des colorants aziniques et ceux du triphényl-méthane. On croyait ce principe actif de la garance apparenté au naphthalène, et ce n'est qu'en 1868 que Graebe et Liebermann y reconnurent un dérivé de l'anthracène. L'année suivante ils en proposèrent une synthèse — la première pour un colorant complexe naturel — basée sur la fusion de la dibromo-anthraquinone en présence d'hydrate de potasse. Or, Perkin avait jadis, sous la direction d'Hofmann, travaillé à la séparation de l'anthracène du goudron de houille et préparé de l'anthraquinone et du chloranthracène. Il était donc en mesure d'attaquer le problème de la synthèse de l'alizarine à l'échelle industrielle. La synthèse du phénol à partir de l'acide benzène-sulfonique par fusion alcaline avait été réalisée par Kekulé et Wurtz en 1867, et Perkin décida de tenter la préparation de l'acide anthraquinone-disulfonique, espérant pouvoir préparer de l'alizarine par le même procédé. Le brevet qui décrit ce projet a été pris un jour plus tard qu'un semblable pris en Allemagne par Caro, Graebe et Liebermann. On arriva à un accord selon lequel la firme Perkin & Fils se réservait les droits de propriété pour l'Angleterre. Bientôt après, en 1869, Perkin adopta une autre méthode basée sur la sulfonation du 9:10-dichloranthracène avec formation d'acide anthraquinone-disulfonique. L'alizarine résultant de la première méthode contenait de l'anthrapurpurine et de la flavopurpurine, tandis que la nouvelle était plus précisément de l'anthrapurpurine (1:2:7-trihydroxyanthraquinone) contenant des traces d'alizarine et de flavopurpurine.



Ce n'est que bien plus tard que l'on se rendit compte que la fusion alcaline comportait une oxydation, que l'acide anthraquinone-monosulfonique était l'intermédiaire de l'alizarine, et que le rendement pouvait être accru par l'addition d'un oxydant (nitrate ou chlorate) à la coulée.

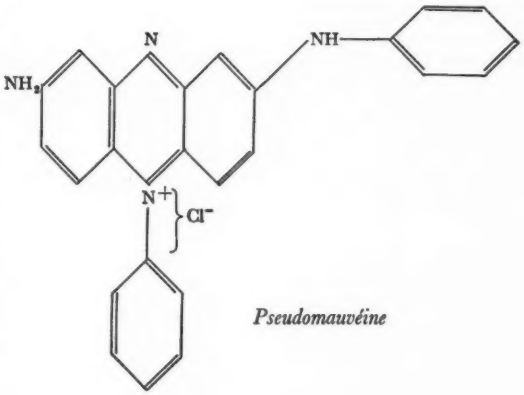
Perkin et Fils produisirent une tonne de pâte d'alizarine en 1869, et 435 tonnes en 1873. Toutefois en 1874 l'usine de Greenford Green fut cédée à la firme Brooke, Simpson et Spiller, qui la revendirent ultérieurement à Burt, Bolton et Haywood. Ces derniers transférèrent la fabrique d'alizarine à Silvertown où elle devint la *British Alizarine Company*. Perkin a donc donné l'essor à deux branches tout à fait distinctes de l'industrie des colorants artificiels, et il a en outre inauguré le système des conseils techniques aux teinturiers et autres clients, qui devint un si puissant outil entre les mains des fabricants allemands.

S'étant retiré des affaires à l'âge de 36 ans Perkin s'adonna aux recherches en chimie pure. Voici quelques-uns de ses travaux:

En 1858, Duppa et lui réalisent la première synthèse de la glycine en chauffant une solution d'acide bromacétique dans de l'ammoniaque. Ils élucident également certains rapports entre les acides fumarique et maléique d'une part, et les isomères de l'acide tartrique de l'autre. Ils ne peuvent naturellement, au point où en est l'étude de la question, comprendre exactement de quoi il s'agit. C'est à eux également que l'on doit la synthèse de l'acide tartrique inactif à partir de l'acide dibromosuccinique.

Perkin a isolé trois constituants de la mauvéine et identifié dans la substance de départ les bases dont ils dérivent, mais n'a démêlé que les grandes lignes de leur structure. C'est la synthèse de la pseudo-mauvéine de Perkin, effectuée par O. Fischer et Hepp en 1888, qui précisa pour la première fois la composition d'un des trois constituants en question: il dérive de l'aniline seulement et la synthèse en révéla la structure ci-dessous.

Par réduction de l'amino-azonaphthalène, Perkin et Church obtiennent le premier diaminonaphthalène et découvrent une méthode d'analyse des colorants azoïques, restée classique. Perkin



Pseudomauvéine

par la suite utilisant une méthode perfectionnée obtient du Rouge Magdala à partir de l'amino-azonaphthalène.

Il explora un domaine tout à fait différent en faisant la synthèse de la coumarine par la réaction de l'anhydride acétique sur le sel sodique de salicylaldéhyde. Puis vinrent la réaction générale de Perkin, la synthèse de l'acide cinnamique et de ses dérivés, en 1877. Cet enchaînement en rappelle un autre: la découverte du Bleu d'Alizarine par Graebe, perfectionnée par Skraup, et convertie en méthode générale pour la synthèse des dérivés quinoléiques.

A partir de 1881, Perkin étudie tout particulièrement les effets d'un champ magnétique sur le pouvoir rotatoire des corps organiques. Il montre magistralement la relation entre l'importance des effets et la structure, ainsi que le parallélisme entre ses résultats et ceux d'une étude analogue des pouvoirs réfringent et dispersif. Son dernier mémoire (1907) traite de la rotation magnétique et du pouvoir réfringent de l'hexatriène ainsi que de sa parenté avec le benzène.

WILLIAM HENRY PERKIN FILS

Perkin épousa en 1859 sa cousine, Jemima Harriet Lissett, de descendance huguenote. Peu après la naissance de William Henry (1860) et d'Arthur George (1861), Madame Perkin mourut de

tuberculose. Six ans plus tard Perkin se remaria avec Alexandra Caroline Mollwo dont il eut un fils, Frederick Mollwo, et quatre filles.

La prospérité de l'usine de Greenford Green et le fait que Perkin ait prématurément cédé à d'autres sa grande entreprise pour s'adonner aux travaux scientifiques, facilitèrent sans doute l'orientation de son fils aîné vers une carrière de science pure. Mais cet heureux résultat est dû surtout au talent, touchant au génie, dont le jeune homme était doué pour la chimie et qui se révéla du premier coup. Il étudia quelque temps au laboratoire Frankland du Collège Royal de Chimie (1877), et y fit quelques recherches sous la direction de W. R. E. Hodgkinson, notamment l'étude sur l'action du sodium sur les phényl-acétates, publiée dans le *Journal of the Chemical Society*, où les initiés reconnaissent le véritable esprit «perkinien».

Un laboratoire avait été installé dans une dépendance de la nouvelle demeure des Perkin à Sudbury. Les deux fils y travaillaient pendant les vacances. Autant que sache l'auteur, le seul fruit de la collaboration entre les deux frères qui nous soit parvenu est une étude de la pyrolyse de l'anthraquinone-β-sulfonate de sodium (sel argentin), et d'autres dérivés anthraquinoniques. Il se peut même que ce soit un simple effet de voisinage, bien que le travail ait été publié plus tard, en 1885 et 1888. Il est étrange que les deux jeunes gens n'aient pas reconnu que la substance rouge contenait du soufre!

En 1880 William va étudier à Wurtzbourg sous la direction de Wislicenus, malgré les objections de son père qui craint pour son fils l'influence des libres-penseurs allemands. William a rendu un éloquent hommage à Wislicenus dans une Conférence Commémorative donnée à la *Chemical Society*. Cependant après un bref passage au laboratoire paternel, il part pour Munich se joindre à la brillante pléiade qui entoure Adolf von Baeyer. Il devint un disciple et plus tard un ami intime du grand homme, à qui pendant longtemps il rendit visite tous les ans. Baeyer le mit à l'étude de l'acide benzoylacétique et de ses esters. On ne connaissait pas encore la méthode élégante de Claisen et il fallait produire l'acide en faisant réagir de l'acide phénylpropiolique avec de l'acide sulfurique, puis avec de l'eau:

$$\mathrm{Ph.C} \equiv \mathrm{C.CO_2H} + \mathrm{H_2O} \rightarrow \mathrm{Ph.CO.CH_2.CO_2H}$$

On préparait l'acide acétylénique en soumettant le dibromure d'acide cinnamique à l'action de la potasse à l'alcool et, à la fin de l'opération, le résultat était assez maigre. Baeyer, en faisant sa tournée, s'étonna de la quantité d'ester benzoylacétique que son nouvel élève avait accumulé et se mit à le sermonner sur l'usage abusif des produits; mais quand il sut que Perkin avait découvert une meilleure méthode, il dit tout simplement: «Après tout, vous n'êtes pas aussi bête que je le croyais.» L'auteur tient l'anecdote de Perkin lui-même.

Devenu *Privatdozent* à Munich, il sut mettre à profit l'occasion d'échanger des idées avec des hommes de son niveau, tels que Königs, Bamberger, Curtius, von Pechmann, Friedländer, O. Fischer, entre autres, et aussi de vivre la vie des universitaires et participer aux activités musicales de l'endroit.

C'est là qu'il amorça un des plus originaux et des plus importants de ses travaux: l'étude de la synthèse des substances dont les molécules renferment des cycles carbonés, même ceux de 3 ou 4 atomes. Victor Meyer, au cours d'une de ses visites à Munich eut une longue discussion avec Perkin à propos du projet de recherches en question: Meyer ne l'approuvait pas, étant convaincu que seuls les cycles à 5 et 6 atomes pouvaient exister; en effet, aucun autre type n'avait jusque là été rencontré dans la nature, ni obtenu par synthèse. Emil Fischer et Baeyer lui-même partageaient l'avis de Meyer. Leurs arguments étaient certainement valables à cette époque, mais Perkin en démontra néanmoins la fausseté, car il avait trouvé plusieurs procédés pour produire non seulement les cycles carbonés usuels mais aussi d'autres plus petits.

Quelque temps après il engage une controverse avec Fittig: celui-ci ne croit pas que Perkin ait vu juste quant à la nature de son acide *cyclo*-propanecarboxylique (acide triméthylènecarboxylique); il pense que c'est plutôt de l'acide vinylacétique. En définitive la synthèse de ce dernier acide effectuée par Wislicenus donne raison à Perkin. Il n'est guère possible de décrire ici les ramifications de ces travaux, dont un développement ultérieur a été l'étude sur le camphre et la synthèse du limonène, du sylvestrène et des terpinéols, ces derniers étant de premier ordre quoique largement déductifs.

A la suite d'une entrevue avec H. B. Dixon, au cours d'une réunion de la *British Association for the Advancement of Science* tenue à Montréal en 1884, il quitta momentanément Munich pour Manchester où il commença son importante étude sur la brasiline et l'hématoxyline. Cette fois il fit peu

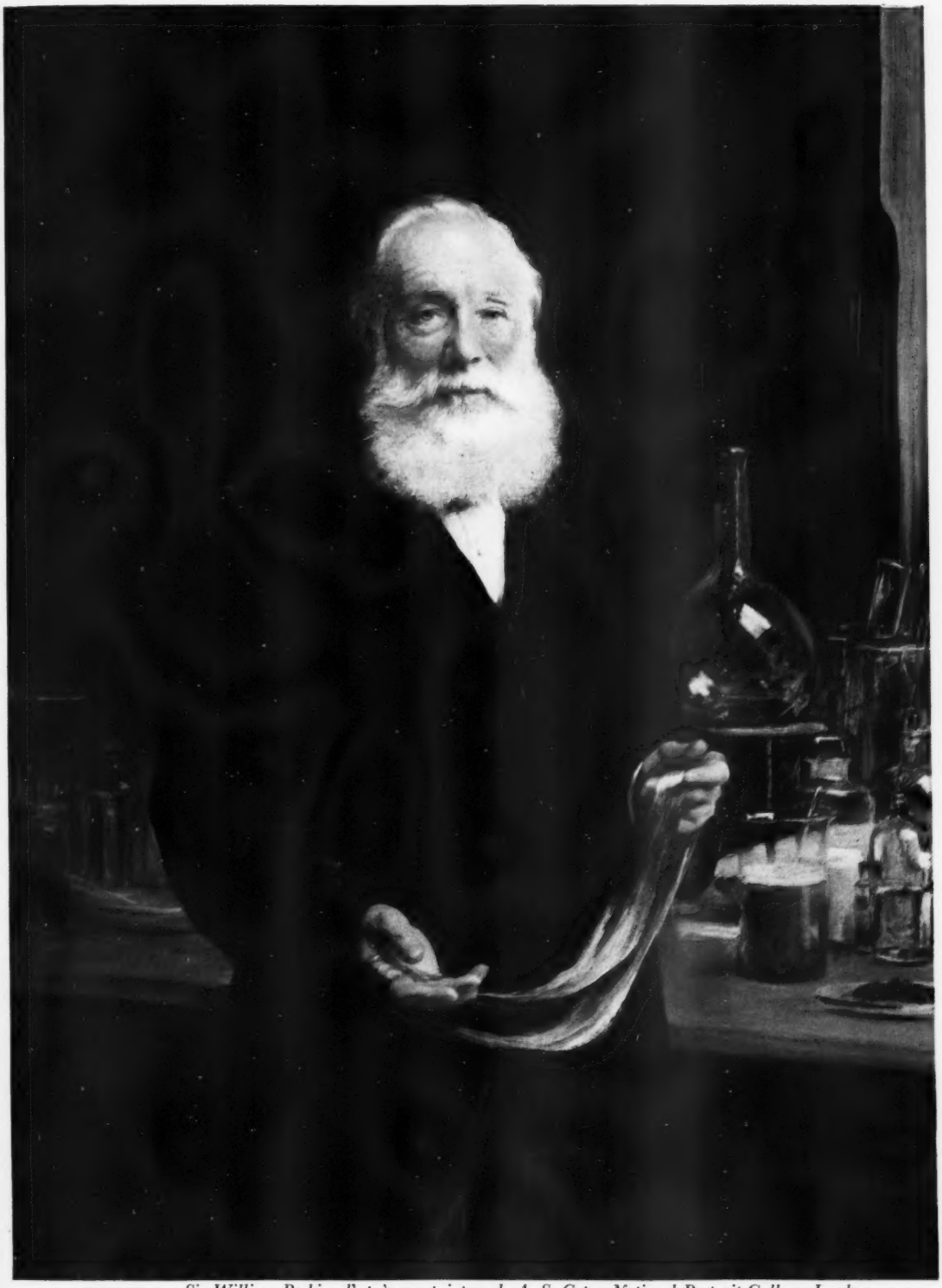


FIGURE 1 – *Sir William Perkin, d'après une peinture de A. S. Cope, National Portrait Gallery, Londres.*

FIGURE 2 – *W. H. Perkin fils, d'après la plaque commémorative qui se trouve au laboratoire Dyson Perrins, à Oxford.*

FIGURE 3 – *W. H. Perkin fils.*

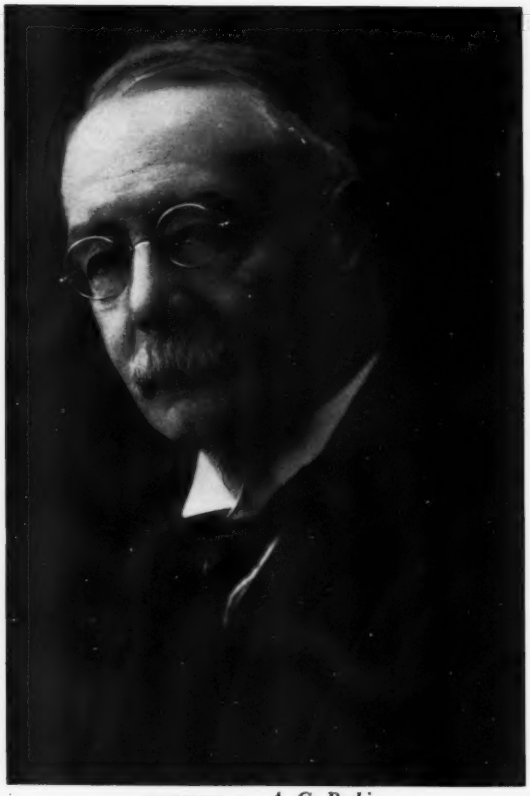


FIGURE 4 – *A. G. Perkin.*

de progrès, mais il reprit ses travaux quand il revint à Manchester en 1892.

N'ayant pu obtenir la chaire d'Aberdeen (accordée à Japp, qui d'ailleurs justifia pleinement la préférence dont il fut l'objet), Perkin est nommé professeur de chimie à *Heriot Watt College* à Edimbourg et cinq ans après, à la mort de Carl Schorlemmer, il accepte la chaire de chimie organique à *Owens College*. Là il fonde une école de recherches et s'emploie à faire améliorer les aménagements, et préparer les plans de nouveaux locaux, dont il ne voit qu'un commencement de réalisation.

Car en 1912 il devient titulaire de la chaire de chimie à Oxford, et agrégé de *Magdalen College*. Dans ce nouveau poste il continue ses recherches avec la même énergie, et d'ardents disciples accourent vers lui de toutes les parties du monde. Parmi les souvenirs durables de son passage à l'Université, signalons le laboratoire Dyson Perrins.

Le lecteur qui voudra se renseigner plus complètement sur l'œuvre de Perkin en trouvera un résumé d'une centaine de pages dans la nécrologie publiée par la *Chemical Society* en 1932. Il convient toutefois de rappeler ici, outre ses divers travaux de synthèse, deux aspects de ses recherches.

Goldschmiedt a été le premier, à partir de 1883, à s'attaquer à la constitution d'une substance naturelle, en l'espèce la papavérine, par oxydation au moyen de permanganate de potasse. Il obtenait ainsi une gamme de produits dont il pouvait déterminer la nature plus facilement que celle du produit original, car c'étaient des molécules simples, qui, se chevauchant parfois, s'ajustaient comme les pièces d'un puzzle de façon à reconstituer l'original.

A Edimbourg et à Manchester, et aussi dans une certaine mesure à Oxford, Perkin appliqua cette méthode avec succès à la berbérine, alcaloïde fort complexe, à la brasiline et à l'hématoxyline, utilisant dans ces derniers cas des éthers méthyliques. Il employa une méthode quelque peu différente pour son étude approfondie de la cryptopine, et ses travaux sur la strychnine et la brucine: il analysa alors toutes les formes différentes qu'il pouvait donner à la molécule complexe. Les qualités qu'il admirait le plus chez Baeyer, son maître et modèle, se révélèrent chez Perkin à un degré transcendant. Toujours au laboratoire et «mettant la main à la pâte» il était guidé par un instinct presque surnaturel vers les méthodes les plus pratiques pour isoler les constituants des goudrons et autres matières peu engageantes.

La théorie l'intéressait peu. A ses yeux la chimie était un art destiné à embellir l'édifice des connaissances de la structure moléculaire qu'il contribua lui-même à ériger dans une large mesure. D'autre part il n'hésitait pas à adopter les techniques nouvelles d'une valeur certaine: la distillation sous vide poussé en est un exemple. Il excellait comme conférencier et comme professeur; sa réputation sous ce rapport est reconnue non seulement par les chimistes organiciens qui eurent la bonne fortune d'être ses collaborateurs, mais aussi par les étudiants, plus nombreux, qui ont assisté à ses cours et gardé un souvenir très vif de la lucidité d'exposition qui était sa spécialité.

Son expression favorite était: «Mettons ça sous forme de tableau». Aussi l'auteur de ces lignes en fera de même pour montrer, au moins partiellement, l'influence qu'a eue W. H. Perkin fils sur la chimie organique en Grande-Bretagne.

Le tableau (figure 5) représente d'une manière certainement incomplète, et peut-être inexacte par endroits, la filiation scientifique de quelques chimistes britanniques. Le but est de montrer l'influence de Perkin fils, mais il faudrait plusieurs pages pour le faire convenablement. Aussi on a omis les directeurs de recherches, les techniciens, les administrateurs et ceux dont les travaux étaient de nature confidentielle. Les titulaires de chaires universitaires et les membres de la *Royal Society* y figurent, et même là il doit y avoir des omissions, tout à fait involontaires d'ailleurs.

ARTHUR GEORGE PERKIN

Celui-ci était si faible à sa naissance que l'on ne croyait pas qu'il vivrait. A six ans il fut mis en pension à Margate et quatre ans après alla rejoindre William au *City of London School*. Il ne vivait donc en famille que pendant les vacances, et alors le principal passe-temps des deux garçons était de faire des expériences de chimie dans le laboratoire du jardin où chacun avait sa table. Entré à 17 ans au Collège Royal de Chimie, il étudia sous la direction de Frankland et de Guthrie. Il y fit des recherches originales et publia en 1880 un mémoire sur l'action de l'acide azotique sur la di-*p*-tolylguanidine.

Après le départ de William pour Wurtzbourg, Arthur passa une année au Collège Anderson à Glasgow; là il remporta une bourse nouvellement créée par la corporation des drapiers, qui le fit admettre à l'école de teinturerie de *Yorkshire College*, devenu l'Université de Leeds.

Il y fut le collaborateur de J. J. Hummel qu'il

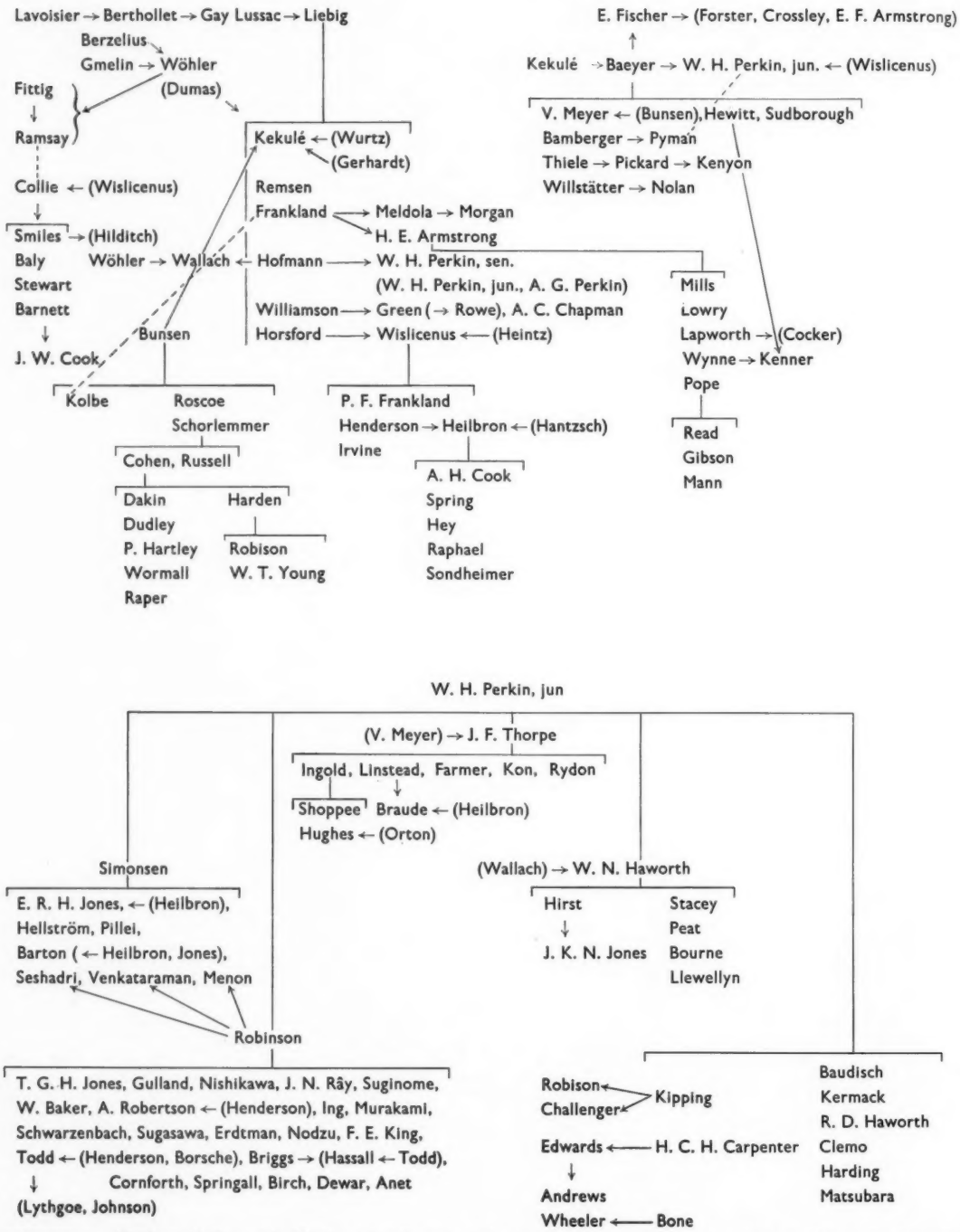


FIGURE 5 – *Tableaux indiquant la filiation scientifique de quelques chimistes organiciens, et mettant en évidence l'universalité de l'influence de W. H. Perkin fils.*

admirait beaucoup, ce qui eut pour effet de l'orienter vers la chimie des colorants naturels. Il en fit son domaine propre; l'importance et l'originalité des travaux qu'il y accomplit lui valurent la célébrité internationale. Une des études conjointes que lui et Hummel entreprirent a trait à l'action des acides forts, l'acide sulfurique notamment, sur la brasiléine et l'hématéine. Les sels qui en résultent, dits isobrasiléiniques et isohématéiniques, furent les premiers dérivés du pyrilium à être isolés et analysés, bien qu'à cette époque on n'eût pas une connaissance précise de leur nature.

A l'expiration de sa bourse Perkin accepta un poste de chimiste chez Hardman et Holden de Manchester. C'est sans doute la nature de leurs activités qui lui dicta sa décision: ils fabriquaient de l'alizarine synthétique. Dès 1888 il dirige l'usine.

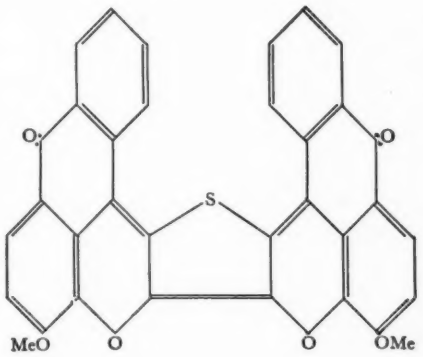
Cependant en 1892 nous le voyons de nouveau à *Yorkshire College* en qualité de professeur chargé de recherches. C'était pour lui le poste idéal. Pendant des années, travaillant tout le jour et parfois la nuit, et souvent aidé de sa femme (née Bedford), il étudia les principes actifs des bois de teinture et autres sources de colorants naturels, dont il fit sa spécialité. Cela le conduisit à l'étude des anthoxanthines et surtout aux types flavonoïdes.

En 1916 il succéda à A. G. Green à la chaire de chimie des colorants et teintures de l'Université de Leeds. Ici il dut sacrifier une partie de plus en plus grande de son temps à l'enseignement et aux détails administratifs, car il était consciencieux jusqu'à l'exagération dans l'accomplissement de ses devoirs.

Selon M. Rowe qui lui succéda, c'est à cause de cette augmentation de sa besogne courante que Perkin entreprit des recherches moins ardues. Il continua néanmoins à poursuivre ses recherches en personne, et celles de la fin de sa carrière ne révèlent aucune diminution de son habileté comme manipulateur.

Il prit sa retraite en 1926 et mourut en 1937. Bien qu'il eût de nombreux collaborateurs, tant britanniques qu'étrangers, près de 60 des 270 mémoires qu'il fit publier parurent sous son nom seul. Il était en effet un chercheur typiquement individuel, le plus à l'aise quand il n'avait qu'un seul objectif en vue; il ne possédait pas comme son frère le génie de l'organisation des recherches simultanées. Sa vie durant il étudia les dérivés de l'anthraquinone, notamment les corps hydroxylés naturels. Il s'intéressa tout particulièrement aux diphénols et aux triphénols partiellement méthylés du groupe, et inventa des méthodes pour déterminer leur structure et effectuer leur synthèse.

De 1922 à 1933 il étudie les produits de réductions des hydroxyanthraquinones, établit leur structure et prouve qu'ils peuvent par condensation être transformés en dérivés de bis-anthracène, notamment en naphthadianthrones et hélianthrones. Cela a donné naissance à son ultime travail, fait en collaboration avec N. H. Haddock. En essayant la méthylation au 3:4 dihydroxyanthranol, il obtint un colorant de cuve vert, dont la formation résultait de la présence d'une impureté dans le trichlorobenzène utilisé comme milieu de réaction. Ce colorant fut identifié comme étant le tétrachlorothiophène dont la formule constitutive est probablement



Ses travaux sur les flavones et flavonols naturels constituent l'essentiel de l'apport scientifique de Perkin.

Le colorant jaune de la Gaude, ou réséda des teinturiers (*Reseda luteola*), était connu des Gaulois. Chevreul le premier, et d'autres après lui, en ont étudié le principe actif, la lutéoline, sans toutefois arriver à élucider sa structure moléculaire: c'est Perkin qui après l'avoir isolée par une méthode perfectionnée l'a reconnue comme étant une tétrahydroxyflavone, issue du phloroglucinol et de la catéchine. Pendant des années après que l'usage de la lutéoline eut été abandonné, elle a servi à fabriquer de la laque d'alumine jaune vif pour teindre la soie des parements des uniformes militaires, de même que la mauvéine, depuis longtemps périmée, donnait encore sa couleur au timbre d'un penny à l'effigie de la reine Victoria.

Avant Perkin, Herzig (qui découvrit la fisétine), Kostanecki et Piccard (la chrysine) avaient étudié les colorants flavonoïdes, mais les explorations

de Perkin dans ce domaine ont été tout aussi importantes que celles de ses devanciers. Ses travaux ont porté notamment sur l'apigénine (que von Gerichten isola le premier), l'acacétine, la morine, la myricétine, la quercétagine, la gossypétine, la rhamnétine et l'*iso*-rhamnétine. Il a reconnu plusieurs substances apparentées aux flavones, tels que la butéine et la butine (extraits de *Butea frondosa*), et fait des recherches sur les xanthones, la gentisine par exemple. De plus il a recueilli des données qui contribuèrent ultérieurement à démontrer l'existence des isoflavones.

Un hasard heureux l'amena à étudier le «carajuru» dont les indigènes de l'Orénoque supérieur se teignaient jadis le corps et dont il semble qu'on ait perdu le secret de la préparation. Perkin en trouva un échantillon dans une boutique d'objets exotiques de Londres. On put en extraire deux corps cristallins dont le plus abondant, de couleur rouge foncé, était la carajurine. L'auteur eut la chance de participer à la détermination de la structure de cette substance, et Seshadri en a récemment fait la synthèse. Il convient de signaler en passant que les travaux des chimistes indiens et japonais ont donné aux flavonoïdes une importance accrue et l'orientation de leurs travaux porte l'empreinte de l'influence de A. G. Perkin.

Celui-ci fit également un apport notable à nos connaissances sur les catéchines et découvrit le cyanomaclurine, curieuse substance qui a la constitution et la structure d'une morine réduite, en état d'oxydation intermédiaire entre une catéchine et un flavonol. La supériorité de Perkin venait d'une grande expérience de la manipulation des produits naturels, et les nombreuses méthodes qu'il a inventées facilita la tâche de ses successeurs.

Perkin fut un brillant professeur et dans son école de Leeds il forma de nombreux dirigeants d'industries textiles et d'autres entreprises utilisant les teintures et les pigments.

FREDERICK MOLLWO PERKIN

Le troisième fils de Sir William, Frederick Mollwo, collabora avec Arthur George à quelques travaux sur la production de la purpurogalline. Il est l'auteur d'un manuel d'analyse qualitative où il rend au lecteur le service d'indiquer la composition de certains réactifs souvent désignés assez mystérieusement par un nom propre, celui de Mandelin par exemple.

Il est impossible d'évaluer avec précision des travaux confidentiels, comme ceux des grands industriels qui au début de leur carrière ont bénéficié de l'enseignement inspiré de W. H. Perkin fils, mais l'importance de l'ensemble est manifeste. Ceci s'applique également à l'œuvre du troisième fils de Sir William: sa réputation comme chimiste-conseil a révélé en lui l'héritier d'un des aspects, et non des moindres, du génie de son père.

Revue des livres

ASTRONOMIE

HOYLE, Fred: *Frontiers of Astronomy*. Pp. XVI + 360. William Heinemann Limited, Londres. 1955. 25s.

Il y a quarante ans, on se demandait encore si les objets appelés nébuleuses spirales faisaient partie ou non de notre galaxie. Les grands télescopes modernes ont répondu à la question et on a maintenant des connaissances sur la distance, la taille, l'abondance spatiale et les déplacements en ligne de vue de ces objets qui ont amené la notion d'expansion de l'univers, dont l'interprétation est douteuse.

Plus près de nous, il y a encore bien des problèmes à résoudre, comme la nature de l'intérieur de la terre, la cause des époques glaciaires, l'origine du relief lunaire, la constitution des planètes, la source du système solaire et la nature des rayons cosmiques. Il existe des théories nouvelles et intéressantes sur tous ces points. La découverte par Baade des deux catégories d'étoiles a orienté différemment de nombreux aspects de la recherche stellaire. La théorie de l'évolution des astres semble aussi prendre forme.

Hoyle a essayé de rendre compte ici de tous les faits nouveaux qui sont à l'avant-garde de l'astronomie; tâche considérable. Commençant par la Terre, il passe ensuite à la Lune, aux planètes, au Soleil et aux étoiles individuelles. Notre galaxie est alors envisagée, puis les galaxies en général, leur formation et évolution. Il arrive enfin à l'expansion de l'univers et aux théories opposées d'explosion initiale et d'état stable, la dernière théorie entraînant l'hypothèse d'une création continue de la matière.

Beaucoup de points sont, naturellement, encore incertains et l'auteur s'efforce de présenter avec impartialité les opinions en contradiction, bien qu'on perçoive parfois ses préférences. Le livre est extrêmement stimulant pour l'esprit et devra être lu de tous ceux qui désirent connaître les courants actuels de la pensée astronomique.

H. SPENCER JONES

DE VAUCOULEURS, Gerard: *Physics of the Planet Mars*. Pp. 365. Faber and Faber Limited, Londres. 1954. 50s.

La planète Mars est remarquable du fait qu'elle est la seule à posséder une atmosphère dont la surface soit visible et à cause des changements qui se produisent dans ses taches verdâtres, que l'on peut expliquer par l'existence possible d'une végétation comparable aux lichens terrestres. De plus, l'avance et le recul saisonniers des calottes polaires ainsi que la formation fréquente de nuages indiquent la présence d'eau.

Ce livre fait un exposé critique détaillé des recherches astronomiques faites ces quarante dernières années sur la nature physique de Mars. Il est divisé en cinq parties. La première s'occupe de l'atmosphère de la planète, sa composition, sa nature et sa pression, et des nuages. La seconde traite de la température et de la climatologie martiennes; la troisième, des calottes polaires et de l'eau, et la quatrième fait une étude détaillée de la surface. La constitution interne de Mars fait l'objet de la dernière, suivie d'un résumé général et de la conclusion. Une liste bibliographique développée complète l'ouvrage avec un index des noms et des sujets.

C'est le premier exposé aussi complet sur la question. En un sens, il est même trop complet car il contient certains résultats et conclusions qui ont été réfutés; cela pourrait toutefois contribuer à les empêcher d'être cités ou acceptés. Il constitue cependant un utile ouvrage de référence sur toutes les questions relatives à Mars.

Assez décevante est la reproduction de photographies de la planète, qui sont de mauvaise qualité et rendent mal les détails présents sur les originaux.

H. SPENCER JONES

BIOCHIMIE

BRACKEN, A.: *The Chemistry of Micro-organisms*. Pp. 343. Sir Isaac Pitman and Sons Limited, Londres. 1955. 30s.

Les composés résultant de cultures de micro-organismes sur des substances simples comme les sucres, l'ammoniaque ou les acides aminés, sont nombreux et intéressent les chimistes et biochimistes depuis longtemps. Ce livre leur sera très utile car il fait une étude chimique détaillée des produits microbiens tout en fournissant une introduction à la microbiologie.

Pour servir de fond au sujet, les chapitres du début traitent brièvement de la biologie des bactéries, levures et moisissures ainsi que du mécanisme de l'action enzymatique. Les exemples illustrant les faits principaux sont bien choisis et d'intérêt général. Le livre s'occupe surtout des produits extracellulaires que l'on trouve dans les cultures de micro-organismes (moisissures en particulier) mais fait remarquer l'extraordinaire puissance de synthèse de ces organismes dont beaucoup sont capables d'élaborer des constituants complexes de la cellule tels que des acides nucléiques et des protéines à partir d'ammoniaque et de sucres et même de gaz carbonique. L'emploi de ces micro-organismes dans la fabrication des antibiotiques, des solvants, de l'acide citrique, de la vitamine B_{12} entre autres, est décrit en détail. Les recherches qui conduisirent à la découverte et à l'utilisation de la pénicilline, la streptomycine et autres antibiotiques sont longuement exposées; leur chimie est aussi étudiée en détail. Une bonne part du livre s'occupe de la séparation et de l'identification des pigments microbiens et des nombreux composés aromatiques, aliphatiques et hétérocycliques que l'on trouve dans les cultures de moisissures. La chimie de ces corps semble mieux connue que les phénomènes biochimiques qui les produisent.

Le dernier chapitre offre des détails pratiques sur des techniques microbiologiques simples telles que la séparation et la conservation des cultures pures — information utile au chimiste voulant manier des micro-organismes. On trouve finalement un examen de certains points mal connus de microbiologie comme le mode d'action des antibiotiques et le mécanisme de la coloration de Gram.

La bibliographie abondante et l'index complet font du livre un excellent ouvrage de référence.

JUNE LASCELLES

LEES, H.: *Biochemistry of Autotrophic Bacteria*. Pp. VIII + 112. Butterworths Scientific Publications, Londres. 1955. 21s.

La biochimie des bactéries autotrophes est encore très obscure mais c'est un sujet qui bénéficiera d'une courte monographie critique telle que celle-ci, destinée aux étudiants avancés. Malheureusement, ce compte rendu des travaux actuels est inégal et parfois superficiel; il établit mal, en outre, la relation entre la question et le reste de la biochimie. On ne trouve pas mention, par exemple, du cycle de

l'acide tricarboxylique par rapport à la fixation du gaz carbonique par les hétérotrophes, mais le cycle photosynthétique de Calvin, bien que plus récent et moins bien établi, est mis en évidence. Les idées sont brièvement présentées mais pas toujours précisées. Ainsi, le concept de «système clos» est introduit en une ligne et une note au bas de la page et c'est tout. En essayant de rendre l'ouvrage accessible au profane intelligent, l'auteur a diminué considérablement sa valeur pour l'étudiant.

La majeure partie consiste en une brève description des principaux groupes d'autotrophes: bactéries non-photosynthétiques du soufre, de l'hydrogène et de l'azote et bactéries photosynthétiques. Là aussi, le niveau est inégal; les travaux récents de Larsen sur *Chlorobium* spp., par exemple, sont décrits en détail mais les bactéries photosynthétiques pourpres mieux connues sont trop brièvement traitées.

Parmi les erreurs, citons seulement la définition bizarre des cytochromes (p. 17), l'énoncé de l'effet de l'acide thioctique sur la photosynthèse alors que la réaction est étudiée avec la quinone (p. 74) et l'omission d'état de référence pour les indications d'énergie libre données tout au long du livre.

C. P. WHITTINGHAM

NEILANDS, J. B. et STUMPF, Paul K.: *Outlines of Enzyme Chemistry*. Pp. x + 315. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 52s.

Comme l'indique le titre, ce livre fait une esquisse de la chimie des enzymes et sera apprécié surtout des étudiants possédant déjà les principes de la chimie et de la physiologie. Clair et dépouillé, il fait un tableau d'ensemble facilement et rapidement assimilable de l'enzymologie.

Les auteurs ont essayé tout au long de présenter les idées essentielles brièvement mais clairement et de fournir des notes bibliographiques bien choisies pour compléter le texte. Cette méthode de présentation, due dans doute au fait que l'ouvrage provient de conférences, aide à rendre l'œuvre très accessible. Au point de vue instructif, elle est également efficace car les points à démontrer sont abondamment illustrés de renseignements expérimentaux réels, de détails pratiques ou de l'application d'un principe étudié à un cas précis.

Les deux premières parties, que la plupart des étudiants de biochimie apprécieront grandement, traitent à fond de l'isolement et la caractérisation des enzymes et des aspects physicochimiques de leur comportement. Les deux parties suivantes sur les différents types d'enzymes et de coenzymes et les arrangements métaboliques ne sont pas aussi coulantes que le reste, sans doute à cause de la nature du sujet et de la difficulté à le résumer. Le dernier chapitre, de R. Stanier, fait une revue captivante du rôle joué par la microbiologie dans l'étude du mécanisme de la synthèse enzymatique.

Les étudiants débutant en biochimie gagneront ici une conception nette des principes physiques si souvent employés dans les études d'enzymes. Ils y découvriront aussi l'insuffisance de nos connaissances du comportement enzymatique et l'ampleur des possibilités d'attaque du problème par des moyens physiques et autres.

J. R. P. O'BRIEN

TOIVONEN, N. J., TOMMILA, E., ERKAMA, J., ROINE, P., et MIETTINEN, J. K., publié sous la direction de: *Biochemistry of Nitrogen*. Série d'articles sur la biochemie de l'azote et sujets voisins; en l'honneur du 60e anniversaire de A. I. Virtanen. Pp. 535. Suomalainen Tiedeakatemia, Helsinki. 1955. Relié, $12; broché, $10.

Ce livre paru en l'honneur du célèbre biochimiste finlandais A. I. Virtanen se compose de 49 articles sur des questions actuelles de biochimie: aminoacides, protéines, acides nucléiques, porphyrines, fixation de l'azote, photosynthèse et réduction des nitrates, entre autres. Le champ traité est plus vaste que le titre ne le suggère. Citons parmi les collaborateurs: E. J. Bigwood, R. H. Burris, A. Butenandt, M. Calvin, E. B. Chain, H. von Euler, C. Fromageot, G. Hevesy, C. N. Hinshelwood, F. Lynen, L. Pauling, H. Staudinger, J. B. Sumner, H. Theorell, A. Tiselius, A. R. Todd, O. Warburg et un grand nombre d'autres biochimistes distingués. Alors que certains articles sont des revues générales telles que celui de Todd sur la synthèse des coenzymes de nucléotides, de Hinshelwood sur les mutations et adaptations des bactéries et de Staudinger sur les macromolécules en biologie, les autres sont, en majorité, des comptes rendus de nouveaux travaux expérimentaux. Cet aperçu en coupe de la biochimie actuelle captivera tous ses lecteurs.

H. A. KREBS

BIOGRAPHIE

GAEDE, Hannah: *Wolfgang Gaede*. Pp. VIII + 127. Verlag G. Braun, Carlsruhe. 1955. DM. 5,80.

La formation de vides généralement poussés est nécessaire dans presque toutes les recherches expérimentales modernes sur la constitution de la matière et fondamentale dans l'industrie électrique légère et la production d'énergie nucléaire. Les machines actuelles à faire le vide, à distinguer de l'ancienne pompe à cylindre et de l'ennuyeuse pompe manuelle à mercure, sont l'œuvre de Wolfgang Gaede. Depuis l'époque où, à l'âge de vingt-sept ans, il mit au point sa pompe rotative à mercure et un peu plus tard sa pompe à tambour, il inventa une série de pompes entièrement nouvelles telles que la pompe moléculaire et la pompe à diffusion, basées sans exception sur des connaissances théoriques profondes, une intuition nette des effets physiques et un don inné d'invention.

Ce livre est l'œuvre de sa jeune sœur, qui fut son amie d'enfance et la confidente et compagne dévouée de toute sa vie, car il resta célibataire. Elle retrace la vie entière du savant, depuis sa naissance à Fribourg en 1878 jusqu'à sa mort en 1945 et s'étend naturellement sur les travaux qui furent sa passion. Il ne recherchait ni la gloire ni les richesses, paraît-il, et ne s'intéressait qu'à l'œuvre où son génie trouvait expression. Son existence n'était pourtant pas recluse: il aimait la marche et le canotage à voile en compagnie et jouait du violon avec talent.

La fin de sa vie fut assombrie par sa ruine complète dans l'inflation catastrophique allemande de 1923. Il devint alors un universitaire génial et poursuivit avec grand succès ses travaux sur la formation et la mesure des vides poussés. En 1933, l'année où il reçut la Médaille Duddell à Londres et l'Anneau Siemens à Berlin, les Nazis l'accusèrent de corruption politique et de sympathies juives. Il fut renvoyé de son poste et menacé de poursuites. Il fut honteusement traité mais put continuer ses travaux dans un laboratoire privé, qui fut complètement détruit par les bombes en 1944. Il mourut l'année suivante de diphtérie et de malnutrition. Ce récit captivant fait un tableau vivant de la vie dans les milieux cultivés allemands avant 1914. C'est aussi le portrait intime d'un génie inventif puissant et d'un grand homme.

E. N. DA C. ANDRADE

CHIMIE

EMMETT, Paul H., publié par: *Catalysis, Vol. II: Fundamental Principles, Part 2.* Pp. VI + 473. Reinhold Publishing Corporation, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 94s.

Ce volume est le second d'une œuvre composite assez longue et renferme six chapitres. Le premier fait un exposé bref et intéressant d'un très grand nombre de réactions de gaz et de vapeurs, et des catalyseurs ayant effet sur eux, au point de vue industriel. Le second traite des vitesses de diffusion et de réaction dans les pores des catalyseurs et propose que la structure poreuse est peut-être responsable du choix des réactions catalysées par les substances de cette catégorie. Les trois suivants exposent rapidement certaines propriétés des solides — magnétisme, conductivité et demi-conductivité électrique, alimentation des niveaux électronique et dislocations de réseaux — probablement capables d'influer sur le pouvoir catalytique, mais dont le rôle catalytique, s'il existe, est douteux. Les théories traitant des vitesses de réaction sont présentées assez en détail mais un petit nombre seulement s'occupent de réactions de surface. L'adsorption est étudiée à fond dans ce volume, comme dans le précédent, même l'adsorption physique qui a, paraît-il, peu de rapports avec la catalyse. La structure des couches chimiosorbées est toutefois peu traitée, ainsi que le mécanisme par lequel elles facilitent les réactions ne se produisant pas en leur absence. On trouve pourtant une bonne étude des variations de pouvoir d'adsorption sur les diverses parties d'une surface. Ces chapitres donnent l'impression que les auteurs veulent citer tout ce qui concerne, de près ou de loin, le pouvoir catalysant et faire état de beaucoup d'interprétations différentes sans les évaluer critiquement par rapport au fonctionnement des catalyseurs. Une sélection et des critiques judicieuses auraient rendu le livre moins coûteux et mieux éclairé les lecteurs sur les principes généraux de la catalyse sur les surfaces. Le dernier chapitre est plus cohérent, présentant avec compétence la théorie de plusieurs types de réactions à catalyse homogène; la catalyse acide-base est particulièrement bien décrite.

Les volumes à venir promettent de traiter en détail plusieurs types importants de catalyse. Souhaitons qu'ils soient moins décousus et que la théorie qu'ils renferment se rapporte plus directement au sujet. N. K. ADAM

HORNING, E. C., publié par: *Organic Syntheses, Collective Volume* III. Pp. X + 890. Chapman and Hall Limited, Londres; John Wiley and Sons Inc., New York. 1955. 120s.

C'est chose courante pour les chimistes organiciens actuels de consulter les volumes de la série *Organic Syntheses* toutes les fois qu'il s'agit de préparer en gros au laboratoire un composé d'achat difficile. Cette dernière addition n'a donc pas besoin d'être présentée aux lecteurs. Les fascicules séparés paraissent avec telle régularité qu'on a peine à croire que 12 ans ont passé depuis la publication du second volume collectif.

Le Volume III renferme donc l'œuvre de plusieurs années et le compilateur a pris la peine de corriger et de moderniser le texte, ajoutant des notes bibliographiques qui vont jusqu'en 1952. On trouve tout au long des notes supplémentaires contenant des conseils pratiques utiles, soumis par des chimistes ayant eu l'occasion d'exécuter les préparations. Outre les index habituels complets donnant les composés décrits et les réactions intéressées, il y a un index supplémentaire extrêmement utile sur les méthodes de préparation et de purification des solvants organiques importants et de réactifs inorganiques spéciaux, tels que l'ozone, l'amidure de sodium, le nickel actif et les catalyseurs au platine et au palladium.

Certaines préparations n'auront pour tous qu'un intérêt de curiosité, mais chacun trouvera dans ce volume, sinon l'accès immédiat à une préparation d'importance primordiale, du moins le procédé voisin qui conduira rapidement à la synthèse désirée. Au prix actuel des livres américains, £6 n'est pas excessif pour un guide de laboratoire aussi concis et aussi sûr, de près de 900 pages. W. A. WATERS

STROUTS, C. R. N., GILFILLAN, J. H. et WILSON, H. N., publié par: *Analytical Chemistry — The Working Tools.* Vol. I. Pp. XXI + 494; Vol. II. Pp. IX + 495–1067. Oxford University Press, Londres. 1955. 105s. les deux tomes.

Un avant-propos du regretté Sir Wallace Akers déclare que ces deux tomes représentent «l'ensemble des techniques et méthodes analytiques communes à tous les laboratoires d'analyse des Imperial Chemical Industries». Les trois rédacteurs sont membres d'un comité de chimistes analystes établi par la compagnie en 1928. L'une des fonctions de ce comité a été de faire l'examen critique des méthodes et techniques dans le but de maintenir un certain degré de standardisation dans l'ensemble de la compagnie et, le cas échéant, de remplacer les anciens procédés par des nouveaux. Nous n'avons pas là une collection encyclopédique de méthodes industrielles particulières à une vaste organisation, mais un traité complet de l'art et de la science de l'analyse chimique.

Voici les titres des quinze chapitres du premier volume: exactitude, manipulation, échantillonnage, pesée, graduation et emploi des appareils volumétriques, mesure de la température et de la pression, mesure de la densité et de la gravité spécifique, détermination des points de cristallisation et de fusion, distillation et détermination de l'intervalle des températures, réactifs et indicateurs, détermination du *p*H, standardisation des solutions volumétriques, analyse organique finale quantitative, microanalyse organique quantitative, analyse des gaz.

Au volume II on trouve: titrage potentiométrique, analyse conductométrique, polarographie, dépôt électrolytique, introduction à l'analyse colorimétrique, spectrophotométrie U-V et I-R, analyse colorimétrique, spectrophotométrie d'absorption de l'ultraviolet, spectrophotométrie d'absorption de l'infrarouge, spectrophotométrie d'émission, analyse spectrochimique par les rayons X, diffraction des rayons X, chromatographie, application des méthodes statistiques à l'analyse chimique.

Le contenu des huit premiers chapitres n'a rien d'original mais il avait grand besoin d'être formulé à nouveau. On y voit partout la marque de l'expérience et la lucidité des passages théoriques est remarquable. L'étude de l'analyse organique finale quantitative, très complète, fera autorité. Les techniques de l'analyse des gaz, sur lesquelles se termine le premier volume, sont également traitées à fond.

C'est dans le volume II que figurent les perfectionnements récents où, en général, une propriété physique autre que la masse se trouve mesurée. L'évaluation finale et fréquente d'une technique sous l'en-tête Emplois et Restrictions est particulièrement appréciable. Dans l'ensemble, c'est la technique et souvent ses principes de base qui sont étudiés avec le plus de détail. Bien que ces renseignements se trouvent ailleurs, leur présence ici est justifiée. Cette section renferme d'autres exemples pratiques de l'application des techniques,

comme celle de la spectroscopie d'absorption de l'ultraviolet à l'analyse quantitative. Les exemples sont fournis par l'expérience des chimistes de la compagnie.

Le niveau du volume II est quelque peu inégal. Ainsi, l'étude des emplois de la diffraction des rayons X dans la poudre n'indique pas suffisamment la valeur remarquable de cette technique dans l'analyse inorganique. Des renvois plus nombreux à l'œuvre de Rooksby, qui s'occupe de la question depuis plus de vingt-cinq ans, aurait mis le point en relief. Le chapitre sur la spectrographie d'émission ne mentionne que brièvement l'excitation de la flamme. Sur ce point et sur la chromatographie en phase gazeuse, totalement omise, le livre ne paraît pas entièrement à jour mais le temps nécessaire pour réunir, rédiger et publier une telle richesse d'information en est certainement la cause.

L'ouvrage sera indispensable aux analystes et si en outre il aide à convaincre les jeunes diplômés de la valeur d'une carrière consacrée à la discipline analytique, Imperial Chemical Industries auront fait là œuvre utile.

R. C. CHIRNSIDE

GÉOPHYSIQUE

STÖRMER, Carl: *The Polar Aurora*. Pp. 437. Oxford University Press, Londres. 1955. 55s.

Les aurores polaires sont étroitement liées à des perturbations ionosphériques d'un type important. Un ouvrage sur le sujet est donc à sa place dans la série de Monographies Internationales sur la Radio. Carl Störmer est depuis cinquante ans l'autorité incontestée dans ce domaine et c'est une réussite considérable de la part des compilateurs de cette série d'avoir su persuader le Professeur Störmer d'écrire cet ouvrage. L'exploit est non moins remarquable de la part d'un vieillard de plus de quatre-vingts ans.

L'observation et la théorie ont part égale dans cette étude. On trouve d'abord un exposé détaillé des travaux d'observation — formes aurorales, mesure visuelle et photographique de la hauteur et de la position et mesure par le spectre. L'auteur examine entre autres les résultats assez décevants jusqu'ici de l'emploi du radar dans ces recherches. Il y a quelques statistiques, mais c'est l'aspect le moins développé du livre.

Les travaux classiques de Störmer sur la trajectoire des corpuscules électriques dans un champ magnétique dominent naturellement la seconde partie du livre. Un chapitre distinct décrit l'application de cette théorie aux rayons cosmiques. Vient ensuite la discussion détaillée des aspects explicables ou non par la théorie avec mention des interprétations différentes de Chapman et Ferraro, Martyn, Alfvén et autres savants. La question est si complexe que l'auteur n'entrevoit pas une solution complète dans un avenir immédiat.

Ce livre restera l'ouvrage de référence classique sur la question pendant longtemps. Il arrive à point car les nombreux chercheurs ayant l'intention de prendre part à l'Année Géophysique Internationale auront ainsi l'occasion de se familiariser avec les problèmes des aurores.

D. H. McINTOSH

PHYSIQUE

DE BROGLIE, Louis: *Physics and Microphysics*. Traduit par M. Davidson. Pp. 286. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres. 1955. 21s.

Louis de Broglie, fondateur de la mécanique ondulatoire, est un conférencier de talent sur des questions de physique théorique, plutôt que technique. Le livre renferme environ 17 de ces exposés, la plupart sur ce genre de sujets. Il est clair qu'il s'adressa à des auditoires variés et à des époques différentes, une fois au moins avant l'invention de la bombe atomique. La date et l'occasion ne sont citées que dans deux cas, ce qui est regrettable.

La première partie du titre fait allusion à la physique des corps pondérables, souvent appelée aussi classique, domaine de la continuité et de la certitude. La seconde se rapporte à celle des particules infimes et paquets d'ondes où dominent la théorie quantique et l'incertitude. Comme il était à prévoir, la plus grande partie du livre est consacrée à la micro-physique, surtout sur les points où la mécanique ondulatoire a évincé la physique traditionnelle. Ainsi le premier chapitre, qui date nettement de plus de dix ans, traite principalement de la théorie de la mécanique ondulatoire concernant la structure électronique de l'atome, mais de façon assez simple. Le deuxième traite du même sujet plus en détail. On trouve ailleurs un exposé un peu plus technique de la formation d'images en optique corpusculaire, portant sur les possibilités du microscope électronique et démontrant que la vue, au sens microscopique du mot, de la structure des édifices atomiques est impossible. Quelques exposés plus courts sur des questions voisines complètent la première partie du livre.

La seconde partie, intitulée assez à tort «philosophie scientifique», renferme les articles les plus longs et les plus personnels. L'un d'eux, *Revelations of Microphysics*, étudie les implications essentielles de la théorie quantique et en particulier les principes d'incertitude et la disparition de l'individualité du corpuscule, avec son retentissement sur le déterminisme. Un autre commence par les réminiscences de l'auteur sur les débuts de la mécanique ondulatoire puis s'attaque aux problèmes du domaine nucléaire, discutant des points très délicats avec une simplicité de style remarquable. Le chapitre sur les conceptions de Bergson est celui qui se rapproche le plus de la philosophie classique. Il est présenté sous forme abrégée, comme le sont d'ailleurs la plupart des chapitres secondaires sur l'histoire scientifique, qui terminent l'ouvrage.

Louis de Broglie a une faculté de compréhension et d'exposition maîtresse en tout ce qui concerne la physique moderne fondamentale. On retrouve dans ses exposés généraux la même élégance que dans ses premiers travaux.

E. N. DA C. ANDRADE

GUGGENHEIM, E. A.: *Boltzmann's Distribution Law*. Pp. 61. North-Holland Publishing Company, Amsterdam. 1955. 5s. 6d.

C'est un plaisir que de passer en revue un ouvrage aussi court, élégant et bon marché que celui-ci. Les professeurs de physique et de chimie ont dû souvent regretter en effet que les fondements de la thermodynamique statistique soient habituellement enfouis sous une masse de détails mathématiques ou présentés comme une «interprétation» apparemment incongrue concluant un exposé de thermodynamique classique. Le livre du Professeur Guggenheim oublie totalement la présentation usuelle et introduit la loi de Boltzmann comme un axiome des états discontinus d'énergie, définissant ainsi implicitement la température. Un certain nombre de propriétés d'ensemble découlent de ce point de départ. Les lois thermodynamiques ne sont formulées explicitement nulle part et l'entropie n'y figure pas.

Les questions étudiées en détail comprennent les gaz monoatomiques et diatomiques, les cristaux simples, la

constante diélectrique des gaz et l'équilibre chimique dans les gaz. L'exposition est claire dans chaque cas; les points qualitatifs importants sont bien mis en relief et des valeurs numériques donnent une idée des ordres de grandeur en question. L'ouvrage ne demande qu'une connaissance élémentaire du calcul différentiel et intégral et la préface fait remarquer qu'il convient aux étudiants de première année d'université. Il nous semble qu'il serait préférable d'attendre d'avoir quelques connaissances expérimentales de base, mais il est certain que le livre rendra service très tôt aux étudiants et nous félicitons l'auteur et l'éditeur sur la qualité de leur travail. R. P. BELL

McDONALD, H. J.: *Ionography*. Pp. x + 268. The Year Book Publishers Inc., Chicago; Interscience Publishers Limited, Londres. 1955. 48s.

Le terme d'ionographie est proposé par l'auteur pour désigner les phénomènes d'électromigration de corps dans des milieux stabilisés par du papier, de la gélose ou matériaux similaires. Bien que la technique ne soit pas nouvelle, le renouveau d'intérêt qu'elle a suscité ces dernières années empêche le débutant de choisir facilement parmi les dispositifs multiples celui qui convient le mieux à ses besoins et il faut parcourir une série de revues toujours plus grande pour découvrir les détails d'applications voulues. Pour venir en aide au débutant comme au spécialiste, le Professeur McDonald et ses collaborateurs ont essayé de réunir ici toutes les connaissances actuelles sur la théorie, la technique et les applications de la méthode ionographique. Ils se sont arrêtés surtout aux systèmes stabilisés par du papier tout en étudiant l'emploi d'autres stabilisateurs. L'exposé est facile à suivre, grâce sans doute au fait que l'auteur a largement puisé dans sa propre expérience, particulièrement dans les chapitres traitant de mesures de mobilité. On ne regrette pas l'absence de reproductions des séparations elles-mêmes, car elles sont rarement bonnes; mais il y a un certain nombre de diagrammes et de courbes bien choisis illustrant quelques points particuliers. Dans les chapitres sur les applications, l'auteur et ses collaborateurs ont extrait les faits saillants d'articles-clés et en ont fait un résumé agréable et utile. La bibliographie très complète va jusqu'en 1954. On a l'impression que beaucoup de réflexion critique est entrée dans la préparation du livre qui intéressera tous ceux qui désirent tirer le meilleur parti de cette technique extrêmement puissante, que ce soit pour l'analyse ou pour des études fondamentales de la mobilité.

A. J. WOIWOD

MAYER, M. G. et JENSEN, J. H. D.: *Elementary Theory of Nuclear Shell Structure*. Pp. 269. John Wiley and Sons, Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 62s.

On a cru pendant longtemps que la structure essentiellement simple de l'atome, réfléchie par la table périodique des éléments, était un fait unique en physique nucléaire. Vers 1948, toutefois, l'accumulation de faits précis montra clairement que le noyau est un édifice creux analogue. Mayer en Amérique, Haxel, Jensen et Suess en Allemagne en offrirent indépendamment l'explication. Depuis lors, le «modèle nucléaire creux» a permis de relier avec succès des faits expérimentaux divers.

Le livre de Mayer et Jensen, les deux principaux fondateurs de la théorie, sera donc bien accueilli. Les preuves expérimentales de l'existence d'une structure nucléaire creuse y sont clairement présentées et suivies d'un exposé simple de l'explication nécessaire en fonction d'orbites nucléaires où la combinaison de «spin» et de mouvement orbital joue un rôle important en dynamique nucléaire; on trouve une étude détaillée de la systématique nucléaire empirique à la lumière de cette théorie. Par ailleurs, le livre est décevant. Le plan manque d'unité. Les auteurs ont essayé de donner un aperçu des nombreux aspects de sujet, négligeant souvent des contributions importantes. On y remarque, en effet, le défaut commun à beaucoup de publications américaines: presque toutes les œuvres ne figurant pas dans la *Physical Review* sont passées sous silence. (Même dans le cas inverse, les omissions sont nombreuses). Non seulement les renvois aux sources sont-ils très incomplets, mais des points secondaires tels que l'orthographe des noms et la définition des quantités physiques sont négligés. L'impression des formules mathématiques est gauche et la qualité des illustrations très inégale. Certaines sont très claires, d'autres embrouillent au lieu d'éclaircir leur sujet.

M. H. L. PRYCE

SHARPE, J.: *Nuclear Radiation Detectors*. Pp. 179. Methuen and Company Limited, Londres. 1955. 11s. 6d.

Cette courte monographie embrasse un domaine très vaste, car elle traite de presque tous les détecteurs de radiations modernes tels qu'on les utilise en physique nucléaire et dans les domaines voisins. La première question qu'elle soulève se rapporte en effet à ce point; était-ce justifié de condenser le sujet en une seule monographie?

Si l'on pense que tout espace est insuffisant pour l'énorme documentation disponible, on n'aura peu de reproches à faire au volume actuel qui est une véritable mine d'information.

Le texte est subdivisé de façon nouvelle en cinq chapitres principaux intitulés: Action réciproque des radiations nucléaires et de la matière, Milieux de détection, Efficacité des indicateurs, Compteurs à émission secondaire et à scintillations, Dispositifs à ionisation. C'est un ordre logique amenant pas à pas aux appareils plus complexes. On note que les compteurs à scintillations précèdent ceux à ionisation, fait sans doute parfaitement justifié par la très grande versatilité de ce type de compteur par rapport aux compteurs Geiger ou proportionnels. Un grand nombre d'indicateurs moins répandus sont aussi étudiés, tels que les compteurs à conduction et les chambres d'ionisation à grille.

L'ouvrage constitue une introduction de valeur à un sujet d'importance capitale. Le prix en étant modique, ce sera un placement avantageux pour les étudiants. Ceux qui désirent des détails complémentaires, ou en ont besoin, trouveront la bibliographie très développée pour un volume aussi condensé.

S. C. CURRAN

Annual Review of Nuclear Science, Vols. III–IV. Pp. x + 412 et x + 483. Annual Reviews Inc., Stanford, Californie, en collaboration avec le National Research Council of the National Academy of Sciences. 1953 et 1954. $7 le volume.

C'est une des moindres bizarreries de la physique nucléaire que, de ses deux publications annuelles, celle intitulée *Progress in Nuclear Physics* soit faite d'articles de revue et celle *Annual Review of Nuclear Science* contienne surtout des comptes rendus de nouveaux développements. L'intention des rédacteurs actuels des deux numéros de cette dernière a été de couvrir plusieurs années; dans les deux premiers, trop d'articles s'attachaient fidèlement à être annuels. C'est une bonne chose, car même un sujet à progrès aussi

rapide que la science nucléaire ne se prête pas à un inventaire annuel dans toutes ses branches.

L'ampleur des recherches nucléaires est considérable de nos jours et ces articles, dont la plupart ont au moins une cinquantaine de renvois et l'un d'eux près de six cents, en font preuve. Mais la qualité des recherches varie et nombre d'articles accablent le lecteur par une avalanche de faits, de théories et de résultats sans essayer d'en estimer la valeur. Ceux qui font cette critique et replacent, même très brièvement, les travaux en question dans le cadre des recherches antérieures, sont parfaits.

Peu d'aspects de la science nucléaire ne figurent pas ici et la présentation générale est excellente; mais les volumes gagneraient à ce que les renvois citent l'auteur et l'année plutôt qu'un numéro, surtout pour le profane qui n'aime pas à consulter des notes en fin de livre. La moitié de chaque volume environ s'occupe de physique nucléaire, expérimentale et théorique et le reste de chimie, biologie, médecine et même géologie nucléaires. C'est l'ouvrage idéal pour élargir l'esprit du scientifique. L. R. B. ELTON

SCIENCES GÉNÉRALES

BROWN, Roland Wilbur: *Composition of Scientific Words*. Pp. 882. Publié par l'auteur, du U.S. National Museum, Washington. 1954. $8.

Afin d'exprimer de façon concise des idées nouvelles et complexes, les sciences ont créé une floraison de mots nouveaux dont beaucoup sont passés dans le langage courant. La plupart viennent de racines latines ou grecques, mais l'importance décroissante des langues classiques dans les études scolaires des savants a donné des résultats inattendus en nomenclature. L'auteur de ce volume — version très développée de son étude *Materials for Word-Study* (1927) — a consacré toute une vie de loisirs à l'application pratique du latin et du grec à la formation de termes scientifiques et littéraires. Tous ceux qui s'intéressent à l'unité du bon anglais lui seront très reconnaissants d'avoir fait paraître ainsi le résultat de ses travaux. Son but est double: d'une part atténuer les méfaits de la formation de mots défectueuse, de l'autre décourager l'invention de mots inutiles et la diffusion de l'argot technique.

Bien que la majeure partie du livre consiste en un lexique à références de rappel donnant les termes et les racines, on trouve aussi d'excellentes préfaces comprenant une étude de la nature du latin et du grec et les règles à suivre dans la formation de termes scientifiques. Les langues classiques reçoivent naturellement la première place, mais les nombreuses autres — du sanscrit et du polynésien à l'anglo-saxon et à l'américain indigène — sont dûment citées.

Un conseil au lecteur: le livre est si attrayant qu'il faut faire un véritable effort de volonté pour s'en tenir aux termes qu'on avait l'intention de chercher. Le temps passé de cette façon ne sera d'ailleurs pas perdu, car il y a toujours profit à feuilleter un tel ouvrage. TREVOR I. WILLIAMS

BORNEMISZA, S. T.: *The Unified System Concept of Nature*. Pp. VIII + 137. Vantage Press Inc., New York. 1955. $3.

Le but de ce livre original est de tracer un tableau d'ensemble des systèmes vivants et inertes de la nature, leur classification en hiérarchies de complexité diverse et leur corrélation. Il commence par opposer les changements répétés ou cycliques aux variations discontinues de structure et fait la distinction entre ce qu'il appelle les relations internes et externes de systèmes, indiquant comment les relations externes d'un groupe peuvent devenir les relations internes d'un groupe d'ordre différent. A ce sujet général, le principe de compensation d'entropie prend une importance nouvelle. L'auteur envisage ensuite les systèmes biologiques et offre une théorie de «l'image organique» selon laquelle «la matière vivante organique contient la reproduction de son milieu». Cette image organique renferme des éléments, non seulement du passé comme dans la mémoire, mais de l'avenir en ce qu'elle détermine l'hérédité.

La dernière partie du livre traite la question du parallélisme psychophysique. L'auteur semble adhérer à la forme de doctrine qui découvre un élément de vie en toute chose.

Le livre repose dans l'ensemble sur des principes scientifiques sûrs. La discussion philosophique semble parfois lumineuse et même brillante et à d'autres moments presque futile. La section sur l'image organique est peut-être un peu forcée mais a beaucoup de vrai. Certains essais d'analyse des rapports entre le physique et le psychologique sont naturellement très spéculatifs mais, à la réflexion, ne paraissent pas plus bizarres que beaucoup de choses en psychoanalyse de nos jours. C. HINSHELWOOD

SARTON, George: *The Appreciation of Ancient and Medieval Science during the Renaissance* (1450–1600). Pp. XVII + 233. University of Pennsylvania Press, Philadelphia; Geoffrey Cumberlege, Londres. 1955. $5.

Ne serait-ce que pour la masse prodigieuse de ses publications, George Sarton serait une figure remarquable du monde érudit. Mais ce n'est pas le volume qui fait le mérite et la particularité de Sarton est que son œuvre gigantesque — son *Introduction to the History of Science* seule compte quelque 5000 pages in-quarto en caractères serrés — reflète tout au long la même érudition minutieuse. Le présent livre ne fait pas exception. Il traite de l'attitude de la Renaissance, dans la période 1460–1600, envers la médecine, l'histoire naturelle, les mathématiques et l'astronomie anciennes et médiévales.

L'ouvrage précise tout au début un point important, à savoir que le flot d'éditions d'anciens traités médicaux et scientifiques pendant la Renaissance n'était pas inspiré par la curiosité ou l'érudition désintéressée, mais par des buts utilitaires. La réputation des autorités anciennes et médiévales était si grande, en général, qu'on s'intéressait davantage à l'exactitude des textes qu'à l'étude et à la critique de leur contenu. L'attitude typique de la Renaissance envers la science était «littéraire plutôt qu'expérimentale,» en dépit de quelques esprits hardis et indépendants tels que Palissy, Paracelse et Petrus Severinus.

Dans la partie consacrée à la médecine, Sarton traite de l'accueil fait aux œuvres d'Hippocrate, Celse, Soranus, Galien, des premiers médecins byzantins et d'Avicenne, lequel retint sa position d'autorité en dépit de l'esprit antioriental montré par les médecins humanistes du temps. Parmi les naturalistes, Aristote, Théophraste, Dioscoride et Pline sont les plus longuement étudiés, tandis que dans la section mathématiques et astronomie, les noms principaux, comme il faut s'y attendre, sont ceux de Platon, Aristote, Euclide, Archimède, Apollonius de Perga et Ptolémée.

Le livre est très bien documenté et renferme 40 pages de notes environ et un bon index. Le texte déborde d'information et est agrémenté souvent de

réflexions et de jugements bien caractéristiques de l'auteur.

E. J. HOLMYARD

SHERWOOD TAYLOR, F.: *An Illustrated History of Science*. Illustré par A. R. Thomson. Pp. XII + 178. William Heinemann Limited, Londres. 1955. 25s.

Les scientifiques achèteront ce volume pour sa belle présentation mais trouveront bientôt qu'il est indispensable. Il attirera d'ailleurs un public beaucoup plus vaste: tous ceux qui s'intéressent à l'histoire de la science, facteur essentiel de la civilisation moderne, ne sauront résister à son texte et ses illustrations captivants. Basé sur les conférences de Noël du Dr. Sherwood Taylor à la *Royal Institution* en 1952, il relate l'évolution scientifique dans son ensemble, non par un tour de force de condensation aride mais par un récit vivant basé sur les expériences fondamentales de la physique. Au cours de ses conférences, l'auteur reproduisait aussi exactement que possible les expériences originales, aussi eut-il l'idée, pour compenser ce manque d'aide visuelle, d'adjoindre au texte des illustrations réalistes. Le risque était grand car les défigurations grotesques infligées par les artistes à l'histoire scientifique ont été souvent dénoncées. Mais il en valait la peine et les dessins de M. Thomson rendent leur sujet avec un talent et un discernement enviables. On remarque surtout ceux de Leeuwenhoek et de Lavoisier, mais l'ensemble est excellent.

Ce mélange d'utile et d'agréable ainsi que la conception et l'exécution nouvelles des illustrations feront innovation dans la littérature de l'histoire scientifique. Le livre recevra certainement l'accueil qu'il mérite.

E. J. HOLMYARD

Kosmos Lexikon der Naturwissenschaften, Vol. II, *L–Z*. Pp. 904. Kosmos Gesellschaft der Naturfreunde: Frankh'sche Verlagshandlung, Stuttgart. 1955. Couverture lin DM. 35,50; cuir DM. 42.

Le premier volume a déjà été passé en revue dans notre numéro d'avril 1954; ce second volume complète l'œuvre, que l'on peut maintenant envisager dans son ensemble. Elle renferme plus de 25 000 termes expliqués par des spécialistes. Parmi les sciences biologiques, particulièrement bien représentées, la zoologie semble prédominer comme le montre la liste des collaborateurs qui compte neuf zoologistes pour chaque membre des autres sciences citées.

Comme ouvrage de référence, le livre rendra grand service au profane qui s'intéresse aux répercussions de la science dans le monde moderne et la bibliographie citée dans beaucoup de cas est à jour et encouragera des lectures supplémentaires. Il semble, toutefois, que les domaines de la recherche où se chevauchent plusieurs sciences, comme la biochimie et la biophysique, souffrent du fait que chaque article a été traité par un spécialiste, bien qu'ils puissent intéresser aussi le lecteur courant. La table du développement de l'espèce humaine (colonnes 1863–65) pourra dérouter le profane et le tableau de l'histoire des sciences en dix colonnes n'a pas grand intérêt même pour lui.

Dans l'ensemble, c'est une réalisation de premier ordre. Ses figures très claires et ses belles planches en couleur ajouteront encore à sa popularité.

G. SCHLESINGER

ZOOLOGIE

BUXTON, P. A.: *The Natural History of Tsetse Flies* (*London School of Hygiene and Tropical Medicine Memoir No.* 10). Pp. XX + 826. H. K. Lewis and Company Limited, Londres. 1955. 84s.

Ce gros volume n'est pas œuvre prolixe mais le résumé de l'énorme quantité de travaux réalisés pour la plupart en Afrique ces cinquante dernières années. Le texte est remarquablement clair et ne compte que les termes techniques essentiels. La présentation est excellente, la documentation abondante, l'index suffisant et les illustrations de première qualité. Les fautes d'impression sont pratiquement inexistantes. L'œuvre est de conception encyclopédique et, outre l'étude biologique complète de la mouche tsé-tsé, fait l'exposé aussi longuement que possible de points tels que le climat et la végétation africains et le problème de l'espèce chez les trypanosomes. Ce sera un ouvrage de référence très utile aux entomologistes sur de nombreux sujets. Outre l'importance de la mouche tsé-tsé en ce qui concerne la santé et le bien-être humain, le livre montre aussi admirablement comment traiter sur place un vaste problème complexe de biologie.

Les textes sur la question parus après la fin de 1952 ne sont pas en général cités par l'auteur. C'est à cette époque que parurent des articles de grande importance pour deux chapitres du livre et il est probable que les essais de corrélation entre la diffusion de la mouche tsé-tsé et le climat devraient être revus. Les nombres de mouches forment une série ayant une corrélation interne, ce qui complique grandement tout essai d'analyse de leur rapport avec le climat. Les relations complexes entre divers facteurs climatiques, qui n'ont pas tous été mesurés, ajoutent encore à la difficulté. L'étude des peuplements de l'insecte par le marquage et le reprise, méthode largement employée par les chercheurs s'occupant de la mouche tsé-tsé, n'est pas aussi simple qu'on l'avait imaginée. Bailey (1951–52) a montré que les méthodes usuelles ont un point faible qui annule au moins le résultat des tests de signification. Deux sujets pourraient être plus détaillés dans l'étude de la glossine: la cytologie qui confirmerait ou corrigerait la taxonomie actuelle et l'étude du comportement par les méthodes actuelles. On comprendrait peut-être mieux ainsi le choix de l'habitat.

O. W. RICHARDS

DHARMAKUMARSINHJI, R. S.: *Birds of Saurashtra — India*. Pp. 561. Publié par l'auteur à Dil Bahar, Bhavnagar, Saurashtra. 1955. 112s. 6d.

Une des conséquences de l'abandon des Indes par l'Angleterre a été le déclin de l'ornithologie, car par le passé toutes les études d'oiseaux indigènes avaient été faites par des Anglais, l'importante étude de Salim Ali étant une importante exception. Cette étude régionale d'un autre ornithologue indien sera donc la bienvenue. L'intérêt du livre est surtout local. Saurashtra, péninsule qui s'étend entre les golfes de Kutch et de Cambay, possède une grande variété d'oiseaux des rivages et des marais. L'arrière-pays est surtout sec et broussailleux, mais la forêt de Gir contient de nombreuses formes sylvestres. Le but de l'ouvrage est de décrire avant tout chaque espèce, sa répartition, ses mœurs et sa couvaison; la plus grande partie est basée sur des observations personnelles et donne une impression d'enthousiasme, de compétence et de vérité, en dépit d'une introduction descriptive très courte et quelque peu naïve. Les planches en couleurs de Somalal Shah permettront d'identifier les espèces mais ne sont pas groupées selon la taille ou la parenté des oiseaux. Les intéressantes photographies de l'auteur comptent des

espèces et des exemples de comportement jamais représentés jusqu'ici. Le grand format, la présentation et le prix du volume rappellent les ouvrages d'ornithologie anglais d'avant 1914 et indiquent qu'on le trouvera surtout dans les bibliothèques riches.

D. LACK

HILL, W. C. Osman: *Primates. Part* 1—*Strepsirhini*. Pp. XXIII + 798. *Part* 2—*Haplorhini*. Pp. XX + 347. University Press, Edimbourg. Première partie, 1953, 105s. Deuxième partie, 1955, 63s.

L'auteur a voulu présenter ici les dernières connaissances sur les caractères externes, le squelette, le crâne, la dentition, la musculature, les viscères, le comportement et la répartition de chaque genre de Primates. Ces deux volumes (sur les Lémurs vivants et fossiles, les Loris et les Tarsiidés) permettent d'apprécier pleinement le grand service rendu aux spécialistes de la primatologie et à beaucoup d'autres, notamment les paléontologistes et les anthropologistes, sans oublier les zoologistes. Outre un catalogue détaillé des genres primates, on y trouve des définitions et spécifications rigoureuses de toutes les catégories taxonomiques importantes à chaque niveau de la hiérarchie des Primates, ordre, sous-ordre, famille et genre. Ces deux sections bien écrites et clairement disposées de l'œuvre font en elles-mêmes un apport de valeur à l'anatomie et taxonomie comparées des Primates, bien qu'on puisse prévoir une controverse sérieuse à propos de plusieurs aspects de la classification du Dr. Hill. Ainsi, au début il ne trouve pas nécessaire d'aller à l'encontre de l'opinion de Mivart (1873) et, en conséquence, omet les tupaïas de l'ordre. La décision est à peine discutée et dire que l'ordre devient presque méconnaissable si on y fait entrer les Tupaiidés n'est pas loin de l'hyperbole. L'exclusion des tupaïas fait du livre un guide moins utile sur l'évolution complète des Primates. L'auteur s'écarte aussi de la règle en suivant Pocock (1918) et faisant passer les Tarsiidés de leur état «prosimien» au rang des Anthropoïdes pour former la classe des Haplorhinés, à distinguer des Strepsorhinés. La position intermédiaire difficile des Tarsiidés entre les Lémuridés et les Anthropoïdes permet des divergences d'opinion considérable bien que, phylogénétiquement, il soit probable que toutes les écoles voient dans les Tarsiidés une branche distincte issue d'une souche voisine de celle des Primates. On ne voit pas au juste, d'ailleurs, ce qu'il faut entendre par origine «tarsienne» ou «tarsiidée» des Anthropoïdes. Le Dr. Hill ne s'étend pas sur ce point, mais c'est compréhensible car des discussions prolongées nuiraient à une œuvre de ce genre. On note que le second volume ne fait pas mention des travaux extrêmement importants de Carpenter et Hebb sur les mœurs et le développement mental des Anthropoïdes et l'on espère que cette omission sera réparée dans les volumes suivants sur les Anthropoïdes ou Hominiens. Ces deux volumes de belle présentation font bien augurer de la série à venir, qui offrira certainement le recueil à jour, bien informé, illustré et documenté de textes originaux, que l'on attend depuis assez longtemps sur les Primates.

J. S. WEINER

MARSHALL, S. M. et ORR, A. P.: *The Biology of a Marine Copepod*. Pp. VII + 188. Oliver and Boyd Limited, Londres. 21s.

En 1770 Gunnerus, évêque de Trondhjem, nommait un petit crustacé retiré des eaux de la Norvège septentrionale *Monoculus finmarchicus* et le classait parmi les Aptères définis par Linné. C'était la première fois que la science s'intéressait à l'organisme marin extrêmement commun qui constitue l'aliment principal de poissons pélagiques, harengs compris, et de certaines baleines. La constitution et la physiologie du *Calanus finmarchicus*, comme on l'appelle maintenant, ainsi que ses mœurs et son cycle de vie, ont grand intérêt pour tous ceux qui s'occupent de biologie marine et de pêcherie. C'est le principal sujet d'étude des deux chefs de laboratoire de la *Scottish Marine Biological Association* à Millport. Ils ont rassemblé ici les fruits de leurs labeurs et de tous les travaux connus sur le *Calanus*. Le résultat est le premier compte rendu détaillé de tous les aspects de la vie d'un crustacé marin copépode. De présentation excellente, le livre fait honneur aux auteurs et à l'éditeur; c'est un apport de premier ordre à la biologie marine et à celle des Crustacés.

C. M. YONGE

Livres reçus

(*Note.* La mention d'un livre à cette page n'exclut pas sa revue ultérieure.)

AGRICULTURE

The Annual Report of the Agricultural and Horticultural Research Station (The National Fruit and Cider Institute). Long Ashton, Bristol, 1954. Pp. 207. University of Bristol, 1955. 15s.

ART DE L'INGÉNIEUR

SEYMOUR, R. B. et STEINER, R. H.: *Plastics for Corrosion-Resistant Applications.* Pp. XVI + 423. Reinhold Publishing Corporation, New-York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 60s.

BIOGRAPHIE

BRODA, E.: *Ludwig Boltzmann.* Pp. VIII + 152. Franz Deuticke, Vienne. 1955. Broché DM. 9,50; toile DM. 11.

PAULI, W., ROSENFELD, L. et WEISSKOPF, V., publié sous la direction de: *Niels Bohr and the Development of Physics.* Pp. VII + 195. Pergamon Press Limited, Londres. 1955. 30s.

BIOLOGIE

BISSET, K. A.: *The Cytology and Life-History of Bacteria* (2e édition). Pp. XII + 164. E. and S. Livingstone Limited, Edimbourg et Londres. 1955. 25s.

MICHAELIS, A. R.: *Research Films in Biology, Anthropology, Psychology and Medicine.* Pp. XVI + 490. Academic Press Inc., New-York. 1955. $10.

PIVETEAU, J., publié sous la direction de: *Traité de Paléontologie.* Vol. V. *Amphibiens, Reptiles, Oiseaux.* Pp. 1113. Masson et Cie, Paris. 1955. Broché 12 000 fr; cartonné 12 800 fr.

POPHAM, E. J.: *Some Aspects of Life in Fresh Water.* Pp. VIII + 123. William Heinemann Limited, Londres. 1955. 6s.

CHIMIE

BALDWIN, E. et BELL, D. J.: *Cole's Practical Physiological Chemistry.* Pp. X + 263. W. Heffer and Sons, Cambridge. 1955. 21s.

DAUVILLIER, A.: *Cosmologie et Chimie.* Pp. VIII + 215. Presses Universitaires de France, Paris. 1955. 900 fr.

EMMETT, P. H., publié sous la direction de: *Catalysis.* Vol. III. Pp. VII + 504. Reinhold Publishing Corporation, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 100s.

KRZIKALLA, R.: *Rechentafeln zur Chemischen Elementar-Analyse.* Pp. 232. Verlag Chemie G.m.b.H., Weinheim/Bergstr. 1956. DM. 12.

OSBORN, G. H.: *Synthetic Ion-Exchangers.* Pp. IX + 419. Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 30s.

VAN SOMEREN, E. H. S. et LACHMAN, F.: *Spectrochemical Abstracts.* Vol. IV. 1946–51. Pp. 179. Hilger and Watts Limited, Londres. 1955. 30s.

WESTERFELD, W. W., publié sous la direction de: *Biochemical Preparations.* Vol. IV. Pp. VII + 108. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 30s.

CRISTALLOGRAPHIE

ANDERSON, B. W.: *Praktische Edelstein-Prüfung.* Pp. 262. Ruhle-Diebener-Verlag K. G., Stuttgart. 1955. DM. 24,60.

DEKEYSER, W. et AMELINCKX, S.: *Les Dislocations et la Croissance des Cristaux.* Pp. VIII + 184. Masson et Cie, Paris. 1955. 2000 fr.

TOLANSKY, S.: *Microstructures of Diamond Surfaces.* Pp. VIII + 67. N. A. G. Press Limited, Londres. 1955. 40s.

GÉOLOGIE

GIGNOUX, M.: *Stratigraphic Geology.* Traduit par G. G. Woodford. Pp. XVI + 682. W. H. Freeman and Company, San Francisco; Bailey Brothers and Swinfen Limited, Londres. 1955. 80s.

MATHÉMATIQUES

FINNEY, D. J.: *Experimental Design and its Statistical Basis.* Pp. XI + 169. Cambridge University Press, Londres. 1955. 30s.

TOPPING, J.: *Errors of Observation and their Treatment.* Pp. 119. The Institute of Physics, Londres. 1955. 5s.

MÉDECINE

CALI, A.: *Basi Teoriche e Sperimentali per una Patogenesi enzimatica dell'Arteriosclerosi.* Pp. 107. Libreria Natale Simonelli Editrice, Pérouse. 1955. 800 lires.

MÉTALLURGIE

MCQUILLAN, A. D. et MCQUILLAN, M. K.: *Titanium—Metallurgy of the Rarer Metals*, No. 4. Pp. XIX + 466. Butterworths Scientific Publications, Londres. 1956. 56s.

PHYSIQUE

ANDREW, E. R.: *Nuclear Magnetic Resonance.* Pp. XI + 265. Cambridge University Press, Londres. 1955. 35s.

Fifth Symposium (International) on Combustion. Pp. XXVI + 802. Reinhold Publishing Corporation, New-York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 120s.

FRIEDLANDER, G. et KENNEDY, J. W.: *Nuclear and Radiochemistry.* Pp. IX + 468. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 60s.

HALLIDAY, D.: *Introductory Nuclear Physics* (2e édition). Pp. IX + 493. John Wiley and Sons Inc., New-York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 60s.

PENMAN, H. L.: *Humidity.* Pp. 71. The Institute of Physics, Londres. 1955. 5s.

JACKSON, L. C.: *Low Temperature Physics.* Pp. VIII + 158. Methuen and Company Limited, Londres; John Wiley and Sons Inc., New-York. 1955. 10s. 6d.

LITTLER, D. J. et RAFFLE, J. F.: *An Introduction to Reactor Physics.* Pp. VIII + 196. Pergamon Press Limited, Londres. 1955. 25s.

ROSENFELD, L., publié sous la direction de: *Nuclear Physics.* Vol. I, No. I. Pp. 72. North-Holland Publishing Company, Amsterdam. 1956. Prix de souscription pour le volume (pp. 700), 106s.

WOODS, H. J.: *Physics of Fibres.* Pp. 100. The Institute of Physics, Londres. 1955. 30s.

SCIENCES GÉNÉRALES

VON FREBERG, Bruno: *Erlanger Forschungen.* Vol. I. Série B: *Naturwissenschaften (Johann Gottlob Lehman* (1719–1767)). Pp. 159. Universitätsbibliothek, Erlangen. 1955. DM. 12,80.

ZOOLOGIE

KEVAN, D. K. MCE., publié sous la direction de: *Soil Zoology (Proceedings of the University of Nottingham Second Easter School in Agricultural Science*, 1955). Pp. XIV + 512. Butterworths Scientific Publications, Londres; Academic Press Inc., New-York. 1955. 55s.

SCOTT, P. et BOYD, H., publié sous la direction de: *The Wildfowl Trust, Seventh Annual Report*, 1953–1954. Pp. 235. The Country Life Limited, Londres. 1955. 10s.

Notes biographiques sur les collaborateurs

ALFRED LANDÉ

Naquit à Elberfeld, Allemagne en 1888 et étudia à Marbourg, Gœttingue et Munich. De 1920 à 1922, fut Privatdozent à l'Université de Francfort et de 1922 à 1931, professeur de physique à Tubingue. Il occupe un poste similaire à l'Université d'Ohio depuis cette date. Ses recherches ont porté surtout sur la structure de l'atome et la théorie quantique, les lignes spectrales et l'effet Zeeman.

J. W. S. PRINGLE

Naquit à Manchester en 1912 et étudia à *King's College*, Cambridge, où il est maître de conférences de zoologie depuis 1945. Il a fait des travaux sur la physiologie nerveuse et musculaire des insectes.

A. T. JAMES

Naquit à Cardiff en 1922 et étudia à *University College*, Londres. Après avoir fait des recherches sur les remèdes contre le paludisme à *Bedford College*, Londres, il travailla au *Lister Institute*. En 1950 il entra en collaboration avec A. J. P. Martin au *National Institute for Medical Research* et mit au point avec lui la technique chromatographique gaz-liquide, qu'il utilise maintenant dans l'étude du métabolisme des graisses.

LORD ROTHSCHILD

Naquit à Londres en 1910 et fit ses études à Harrow et à *Trinity College*, Cambridge, dont il devint Fellow. Est actuellement directeur-adjoint de recherches au département de zoologie, à Cambridge, étudiant la physiologie de l'œuf, des spermatozoïdes et de la fertilisation. Il préside l'*Agricultural Research Council* depuis 1948.

L. ESSEN

Naquit en 1908 et étudia à *University College*, Nottingham. Il entra au *National Physical Laboratory* en 1929. L'oscillateur à anneau de quartz, qu'il mit au point, est maintenant utilisé dans tous les observatoires et laboratoires d'étalonnement principaux du monde entier. Pendant la guerre, il perfectionna des méthodes de mesure des fréquences d'ondes ultra-courtes et a depuis appliqué ces procédés au calcul de constantes fondamentales et, en particulier, à l'établissement d'un étalon atomique de fréquence et d'intervalle de temps.

SIR ROBERT ROBINSON

Naquit en 1886 et étudia à l'Université de Manchester. Nommé professeur de chimie organique à l'Université de Sydney en 1912, il a occupé depuis plusieurs chaires professorales et de 1930 à 1955 fut professeur de chimie à l'Université d'Oxford. Il est maintenant le principal conseiller technique de la compagnie chimique Shell. Ses travaux scientifiques ont porté sur la constitution et la synthèse de produits naturels tels que les alcaloïdes et les anthocyanines ainsi que sur l'application des théories de l'électron au mécanisme des réactions. Il a été président de la *Royal Society* et de la *Chemical Society* et, en 1955, de la *British Association for the Advancement of Science*.